

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для практичних занять та виконання розрахунково–графічного завдання з
дисциплін
«ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ».

«НАСОСНІ ТА ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ.
МОДУЛЬ 1. ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ
МАШИНИ»

*(для студентів 2, 3 курсів денної та заочної форм навчання напрямів
підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси)(фахове спрямування
«Раціональне використання і охорона водних ресурсів»),
6.060101 – Будівництво (фахове спрямування «Водопостачання та
водовідведення») та спеціальності 192 – Будівництво і цивільна інженерія)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2017

Методичні вказівки для практичних занять та виконання розрахунково-графічного завдання з дисциплін «Гідравлічні та аеродинамічні машини». «Насосні та повітродувні станції. Модуль 1. Гідравлічні та аеродинамічні машини» (для студентів 2, 3 курсів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси) (фахове спрямування «Рациональне використання і охорона водних ресурсів»), 6.060101 – Будівництво (фахове спрямування «Водопостачання та водовідведення») та спеціальності 192 – Будівництво і цивільна інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. О. Шевченко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 61 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Т. О. Шевченко

Рецензент О. В. Булгакова, канд. техн. наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 28.08.2014 р.

ЗМІСТ

1 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ.....	4
1.1 Визначення напору і тиску насоса за показаннями приладів.....	4
1.2 Визначення напору насоса при проектуванні	5
1.3 Висота всмоктування насоса.....	6
1.4 Коефіцієнт швидкохідності насоса.....	8
1.5 Вплив частоти обертання робочого колеса на характеристики відцентрового насоса.....	10
1.6 Обточування робочого колеса відцентрового насоса.....	16
1.7 Сумісна робота насосів і трубопровідної мережі.....	19
1.8 Паралельна робота кількох однотипних насосів на два водоводи.....	20
1.9 Послідовна робота насосів.....	22
Завдання для самостійної роботи.....	25
2 РОЗРАХУНКОВО–ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	32
Додатки.....	44
Додаток А. Характеристики насосів марки Д.....	44
Додаток Б. Характеристики насосів марки СД.....	57
Список використаних джерел.....	60

1 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

1.1 Визначення напору і тиску насоса за показаннями приладів

Напір насоса дорівнює сумі показань манометра на напірному патрубку і вакуумметра на всмоктувальному патрубку, приведених до однієї висотної відмітки, плюс різниця швидкісних напорів у напірному й всмоктувальному патрубках насоса (рис. 1.1)..

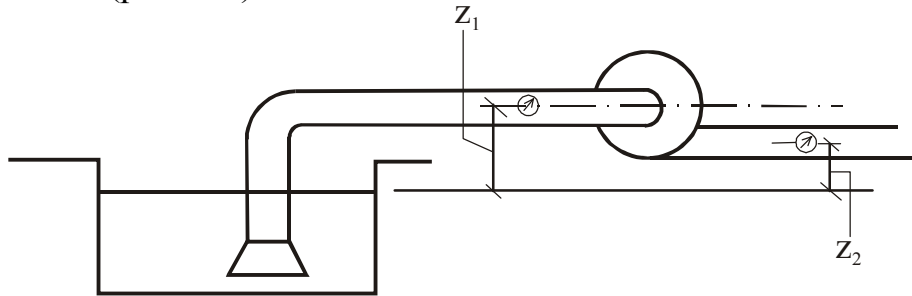


Рисунок 1.1 – Схема насосної установки з приладами вимірювання тиску

$$H = \frac{P_{\text{ман}}}{\rho g} + \frac{P_{\text{вак}}}{\rho g} + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g}; \quad (1.1)$$

$$P = P_{\text{ман.}} + P_{\text{вак.}} + \frac{\rho}{2}(V_2^2 - V_1^2) \quad (1.2)$$

Задача 1. Визначити напір насоса за показаннями приладів, якщо відомо наступне: насос качає воду і розвиває подачу 1500 л/с. Манометр, який підключений до напірного патрубка насоса, показує тиск 0,36 МПа (3,6 атм.), а вакуумметр, який підключений до всмоктувального патрубка, показує вакуум 0,06 МПа (0,6атм). Манометр розміщений на 4 метри вище за вісь насоса, а вакуумметр – на 2 метри вище цієї осі. Діаметр усмоктувального патрубка насоса – 800 мм, діаметр напірного патрубка – 600 мм.

Розв’язання задачі. Спочатку приводимо показання манометра і вакуумметра до відмітки осі насоса:

$$P_{\text{ман.о.н.}} = P_{\text{ман}} + 4 \cdot \rho g = 360000 + 4 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 399420 \text{ Па};$$

$$P_{\text{вак.о.н.}} = P_{\text{вак}} - 2 \cdot \rho g = 60000 - 2 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 40380 \text{ Па.}$$

Визначаємо швидкість руху води в напірному й всмоктувальному патрубках насоса:

$$V_2 = \frac{Q}{\frac{\pi D_{\text{н.п.}}^2}{4}} = \frac{1,5 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,6^2} = 5,3 \text{ м/с}, \quad V_{\text{у.н.}} = \frac{1,5 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,8^2} = 2,99 \text{ м/с.}$$

За формулою (1.1) визначаємо напір насоса за показаннями приладів:

$$H_{\text{нас}} = \frac{399420}{1000 \cdot 9,81} + \frac{40380}{1000 \cdot 9,81} + \frac{5,3^2 - 2,99^2}{2 \cdot 9,81} \cong 45,4 \text{ м. вод. стовпа.}$$

Задача 2. Визначити тиск, який створює насос, якщо відомо наступне:

Насос транспортує рідину густиною 920 кг/м^3 і розвиває при цьому подачу $3200 \text{ м}^3/\text{год}$. До напірного і всмоктувального патрубків насоса підключено манометри, які показують відповідно тиск $1,06$ і $0,12 \text{ МПа}$ ($10,6$ і $1,2 \text{ атм}$). Обидва манометри виведено на спільний стенд, вони розміщені на одній відмітці на 6 метрів вище за відмітку осі насоса. Діаметр усмоктувального патрубка насоса 700 мм , напірного – 500 мм .

Розв'язання задачі: За умовою обидва манометри розміщені на одній геодезичній відмітці, тому можна скористатися їх показаннями без додаткових коректив (при бажанні, можна привести показання цих манометрів до відмітки осі насоса і впевнитися, що результат буде тим самим). Тому вираховуємо тільки швидкості руху рідини в напірному й всмоктувальному патрубках насоса:

$$V_2 = \frac{Q}{\frac{\pi D_{н.п.}^2}{4}} = \frac{3200 \cdot 4}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2} = 4,53 \text{ м/с}; \quad V_1 = \frac{3200 \cdot 4}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,7^2} = 2,31 \text{ м/с}.$$

За формулою (1.2) знаходимо тиск насоса за показаннями приладів:

$$P_{нас} = 1060000 - 120000 + \frac{920}{2} (4,53^2 - 2,31^2) = 946985 \text{ Па, або } \approx 9,47 \text{ атм}.$$

1.2 Визначення напору насоса при проектуванні

Необхідний напір насоса дорівнює сумі геометричної висоти підйому рідини (статичний напір) і повних втрат напору, що виникають при русі рідини по всмоктувальному й напірному трубопроводах.

$$H = H_z + h_{нап} + h_{всм} + h_{вільн} \quad (1.3)$$

де H_z – геометрична висота підйому рідини, м;

$h_{нап}$ – втрати напору в напірному трубопроводі, м;

$h_{всм}$ – втрати напору у всмоктувальному трубопроводі, м;

Втрати напору поділяються на втрати напору за довжиною та місцеві втрати напору. Втрати напору за довжиною можна обчислити за однією із формул гідравліки:

формула Дарсі

$$h_{довж} = \lambda \frac{L V^2}{2dg}, \quad (1.4)$$

або

$$h_{довж} = SQ^2 = A_0 \cdot k \cdot L \cdot Q^2, \quad (1.5)$$

де λ – коефіцієнт тертя;

L – довжина трубопроводу;

V – швидкість руху рідини;

d – діаметр трубопроводу;

g – прискорення сили тяжіння;

S – коефіцієнт опору трубопроводу;

Q – витрата по трубопроводу;

A_0 – коефіцієнт питомого опору трубопроводу;

k – коефіцієнт, що коригує неквадратичність залежності.

У практиці розрахунків систем водопостачання великого поширення набула формула для визначення втрат напору за довжиною

$$h_{\text{довж}} = i L, \quad (1.6)$$

де i – гідравлічний ухил.

Місцеві втрати напору найчастіше обчислюють за формулою Вейсбаха:

$$h_{\text{міст}} = \xi \frac{V^2}{2g}, \quad (1.7)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору.

$h_{\text{вільн}}$ – вільний напір на вилив, приймається 1,5–2 м.

1.3 Висота всмоктування насоса

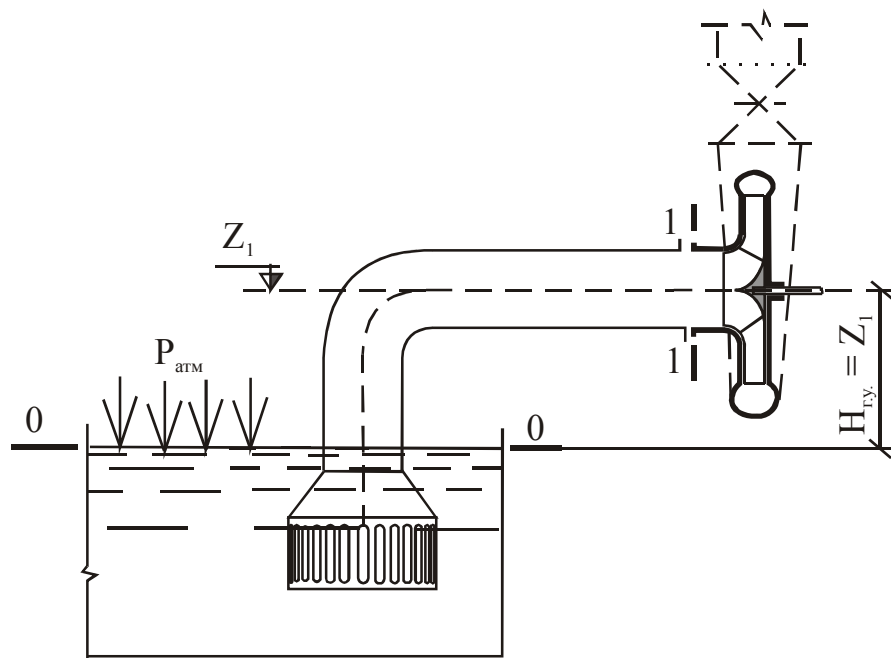


Рисунок 1.2 – Схема до визначення висоти всмоктування насоса

$$H_{\text{г.у.}} = H_{\text{вак}} - h_{\text{н.узм.}} - \frac{V_1^2}{2g}; \quad (1.8)$$

де V_1 – швидкість руху рідини в перерізі 1–1;

$h_{\text{н.узм.}}$ – повні втрати напору між перерізами 0–0 і 1–1 (повні втрати напору у всмоктувальному трубопроводі).

Геометрична висота всмоктування насоса менша за вакууметричну на величину повних втрат напору у всмоктувальному трубопроводі і на величину швидкісного напору у всмоктувальному патрубку насоса

Якщо відома величина кавітаційного запасу Δh (з паспорту насоса), то

найбільшу геометричну висоту всмоктування можна визначити за формулою:

$$H_{г.у.}^{макс} = H_{атм.} - h_t - \Delta h - h_{п.узм.} - \frac{V_1^2}{2g} . \quad (1.9)$$

Якщо відома величина допустимого вакууму $(H_{вак}^{доп})_{пасп}$ (з паспорту насоса), то найбільшу геометричну висоту всмоктування можна визначити за формулою:

$$H_{г.у.}^{доп} = (H_{вак.}^{доп})_{роб.} - h_{п.узм.} - \frac{V_1^2}{2g} . \quad (1.10)$$

Найчастіше насосна установка проектується для місцевості, де атмосферний тиск відрізняється від 10 м.вод.ст., або для перекачування води з температурою більше 20°C, тоді паспортну величину $(H_{вак}^{доп})_{пасп}$ слід уточнити за формулою:

$$(H_{вак.}^{доп})_{роб.} = (H_{вак.}^{доп})_{пасп} - 10 + H_{атм} + 0,24 - h_t . \quad (1.11)$$

У цьому випадку найбільша геометрична висота всмоктування насоса буде:

Залежно від висоти над рівнем моря величину $H_{атм}$ можна взяти з таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Залежність атмосферного тиску $H_{атм}$ від висоти над рівнем моря

Висота над рівнем моря в метрах	–600	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
Атмосферний тиск, Натм м. вод. стовпа	11,3	10,3	10,2	10,1	10,0	9,8	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,2	8,6	8,4

Тиск насиченої пари води h_t залежно від її температури, можна взяти із таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Залежність тиску насиченої пари від температури рідини, що перекачується насосом

Температура води, °C	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Тиск насиченої пари води, h_t м. вод. стовпа	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,02	3,17	4,82	7,14	10,33

Задача 1. Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, якщо відомо наступне: насос планується встановлювати в місцевості, що знаходиться на висоті 1000 метрів над рівнем моря, він буде перекачувати з відкритого резервуару воду температурою до 60 °С. При проектуванні визначено, що при розрахунковій подачі повні втрати напору у всмоктувальному трубопроводі складають 0,75 м.вод.стовпа, а швидкість руху води у всмоктувальному патрубку насоса – 3 м/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику $Q - \Delta h$, згідно з якою, при розрахунковій подачі $\Delta h = 6,5$ м.вод.ст.

Розв’язання задачі. Із таблиць 1.1 і 1.2 знаходимо, що атмосферний тиск на висоті 1000 метрів над рівнем моря $H_{\text{атм}} = 9,2$ м.вод.ст., а тиск насиченого пару води при температурі 60°C – $h_t = 2,02$ м.вод.ст. За формулою (1.9) знаходимо найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування насоса:

$$H_{\text{з.у.}}^{\text{макс}} = 9,2 - 2,02 - 6,5 - 0,75 - \frac{3^2}{2 \cdot 9,81} \cong -0,53 \text{ м.}$$

Отриманий результат показує, що насос (його вісь) слід розміщувати нижче (знак мінус) рівня води у всмоктувальному резервуарі не менше ніж на 0,53 м.

Задача 2. Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для тих же умов і вихідних даних, що описані в прикладі 1, але для насоса, в технічному паспорті якого наведена характеристика $Q - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$, а не $Q - \Delta h$. Згідно з цією характеристикою, $(H_{\text{вак}}^{\text{доп}})_{\text{пасп}} = 4,9$ м. вод. ст. при розрахунковій подачі.

Розв’язання задачі. Оскільки насосна установка проектується для перекачування нагрітої води в місцевості, де атмосферний тиск відрізняється від 10 м.вод.ст., то паспортну величину $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ коригуємо за формулою (1.11):

$$(H_{\text{доп}}^{\text{вак}})_{\text{роб}} = 4,9 - 10 + 9,2 + 0,24 - 2,02 = 2,32 \text{ м. вод. ст.}$$

За формулою (1.10) знаходимо найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування насоса:

$$H_{\text{з.у.}}^{\text{макс}} = 2,32 - 0,75 - \frac{3^2}{2 \cdot 9,81} \cong 1,11 \text{ м.}$$

Отриманий результат показує, що для нормальної роботи насоса його можна розміщувати над рівнем води у всмоктувальному резервуарі не вище ніж на 1,11 м.

1.4 Коефіцієнт швидкохідності насоса

Для порівняння лопатевих насосів різного типу користуються поняттям коефіцієнта швидкохідності, об’єднуючи насоси в групи за принципом їх геометричної і кінематичної подібності.

Коефіцієнтом швидкохідності насоса n_s називається кількість обертів другого насоса, який в усіх деталях геометрично подібний до того, що розглядається, але таких розмірів, що працюючи в тому ж режимі, створює напір 1 м.вод.ст. при подачі 75 л/с .

Числове значення n_s можна визначити з формул перерахунку

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{H} &= \left(\frac{n_s}{n} \right)^2 \left(\frac{D_s}{D} \right)^2 \\ \frac{0,075}{Q} &= \frac{n_s}{n} \left(\frac{D_s}{D} \right)^3 \end{aligned} \right\} n_s = 3,65 \frac{n \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}. \quad (1.12)$$

Для насосів з двобічним входом рідини в робоче колесо в цю формулу слід підставляти половину подачі насоса. Для багатоступеневих насосів в цю формулу підставляють напір, який створює одне колесо.

При визначенні n_s у формулу (1.12) підставляють подачу в м³/с і напір в м.вод.ст., що відповідають оптимальному режиму роботи насоса (тобто роботі з найбільшим коефіцієнтом корисної дії).

Коефіцієнт швидкохідності насоса – це важливий параметр, який широко використовується при визначенні типу насоса. Універсальність цього параметра в тому, що він одночасно враховує три найважливіші параметри насоса: подачу, напір і частоту обертання.

Задача 1. Визначити коефіцієнт швидкохідності одноступеневого насоса з однобічним підводом рідини до робочого колеса, коли відомо, що при швидкості обертання 1450 об/хв. і роботі в оптимальному режимі він розвиває подачу 200 м³/год. при напорі 20 м.вод.ст.

Розв’язання задачі: Підставляючи у формулу (1.12) значення подачі насоса в м³/с і напору в м.вод.ст., отримуємо:

$$n_s = 3,65 \frac{1450 \sqrt{200/3600}}{\sqrt[4]{20^3}} \cong 132.$$

Задача 2. Визначити коефіцієнт швидкохідності семиступеневого секційного насоса з однобічним підводом рідини до робочих колес, коли відомо, що при швидкості обертання 3000 об/хв. і роботі в оптимальному режимі він розвиває подачу 60 м³/год. при напорі 198 м.вод.ст.

Розв’язання задачі. Підставляючи в формулу (8) значення подачі насоса в м³/с і напору, який розвиває одне робоче колесо (один ступінь) насоса в м.вод.ст., отримуємо

$$n_s = 3,65 \frac{3000 \sqrt{60/3600}}{\sqrt[4]{(198/7)^3}} \cong 115.$$

Задача 3. Визначити коефіцієнт швидкохідності одноступеневого насоса з двобічним підводом рідини до робочого колеса, коли відомо, що при

швидкості обертання 730 об/хв. і роботі в оптимальному режимі він розвиває подачу 6300 м³/год. при напорі 80 м.вод.ст.

Розв'язання задачі. Підставляючи у формулу (8) значення половини подачі насоса в м³/с і напір в м.вод.ст., отримуємо

$$n_s = 3,65 \frac{730 \sqrt{6300 / (2 \cdot 3600)}}{\sqrt[4]{80^3}} \cong 93.$$

1.5 Вплив частоти обертання робочого колеса на характеристики відцентрового насоса

В умовах виробництва часто виникає потреба у визначенні характеристик насосів при частотах обертання, що відрізняються від номінальної (в технічному паспорті насоса наводяться характеристики для номінальної частоти обертання). Для розрахунків у таких випадках користуються формулами перерахунку. У цьому випадку діаметр робочого колеса насоса **D = const** і формули перерахунку набувають вигляду:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q}{Q_1} &= \frac{n}{n_1}; \\ \frac{H}{H_1} &= \left(\frac{n}{n_1} \right)^2; \\ \frac{N}{N_1} &= \left(\frac{n}{n_1} \right)^3; \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

Ці залежності називають *законом пропорційності*.

Вакуумметричну висоту всмоктування можна перерахувати за формулою

$$\left(H_{\text{васк.}}^{\text{дон.}} \right)_{n_1} = 10 - \left[10 - \left(H_{\text{васк.}}^{\text{дон.}} \right)_n \right] \cdot \left(\frac{n_1}{n} \right)^2. \quad (1.14)$$

Закон пропорційності за однією характеристикою ($Q - H$) дозволяє побудувати ряд характеристик для різних частот обертання. Для цього з рівнянь пропорційності вилучають частоту обертання:

$$H_1 = \frac{H_a}{Q_a^2} Q_1^2 = K \cdot Q_1^2. \quad (1.15)$$

Маємо рівняння параболи з вершиною в початку координат, яка проходить через точку **a** з координатами **Q_a; H_a** (рис. 1.3) Задавшись різними величинами частот обертання, за формулами пропорційності вираховують координати точок **Q_{a1} – H_{a1}; Q_{a2} – H_{a2} ;...; Q_{ai} – H_{ai}**, куди переміститься точка **a** при частотах обертання **n₁ ; n₂ ; ...; n_i**. Усі ці точки лежать на параболі, що проходить через точку **a** і має вершину в початку координат. Ця парабола (**0; a_i; a₂; a₁; a**) називається параболою подібних режимів.

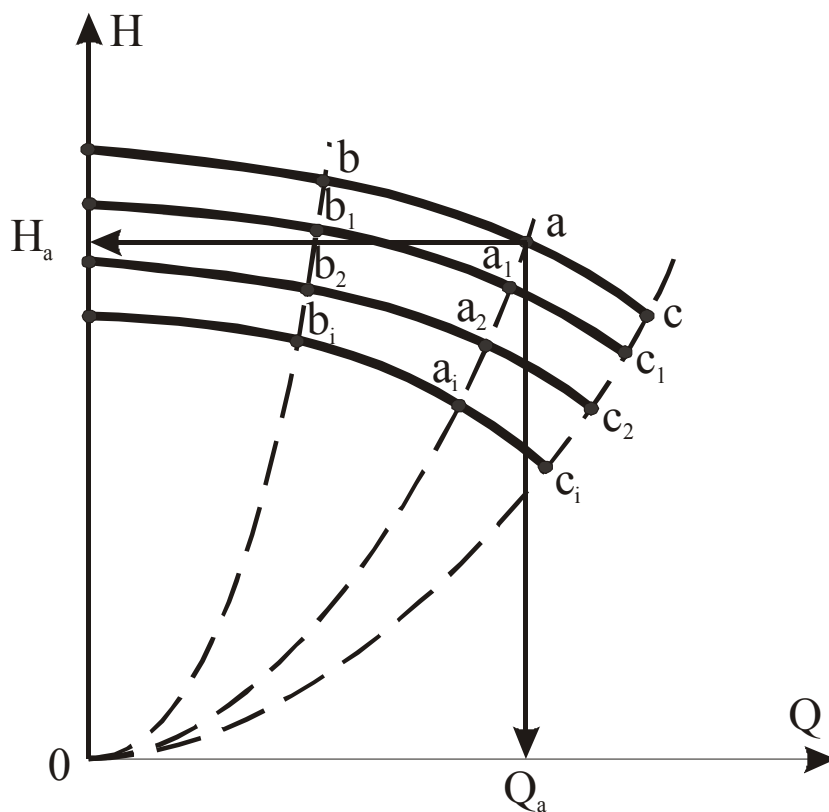


Рисунок 1.3 – Побудова парабол подібних режимів у разі різних частот обертання робочого колеса насоса

Перерахунок будь-якої іншої точки характеристики $Q-H$ (наприклад, точки b або c) на частоти обертання $n_1; n_2; \dots; n_i$ дасть точки $b_1; b_2; \dots; b_i$ і $c_1; c_2; \dots; c_i$, які розмістяться на параболах, що проходять відповідно через точки b і c . Проводячи через точки $a_1; b_1; c_1$ плавну криву, отримаємо характеристику $Q_1 - H_1$ насоса при частоті обертання n_1 . Таким же чином отримують характеристики $Q_i - H_i$ для будь-якої частоти обертання.

Теоретично параболи подібних режимів повинні бути і лініями постійних ККД (рис. 1.4), але в дійсності це не так. Найбільшого значення коефіцієнт корисної дії насоса досягає при номінальній (розрахунковій) частоті обертання. У разі будь-якої іншої частоти він зменшується. Це викликано тим, що вплив гідравлічних і механічних втрат різний у разі різних частот обертання.

Слід зазначити, що робота насоса з підвищеною проти номінальної частотою обертання дозволяється тільки при узгодженні із заводом – виробником.

Під час проектування та експлуатації насосних станцій зустрічаються два типи задач. У першому випадку за паспортними характеристиками необхідно побудувати характеристики насоса для частоти обертання, що відрізняється від номінальної (паспортної). У другому випадку необхідно визначити, при якій частоті обертання характеристика $Q-H$ насоса пройде через розрахункову точку. Розглянемо обидва випадки.

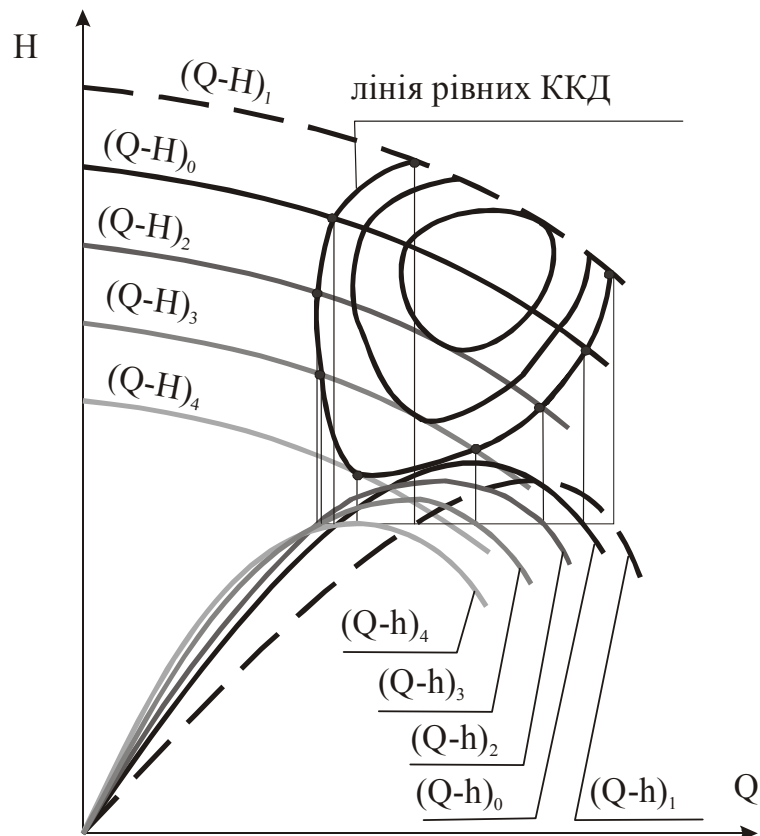


Рисунок 1.4 – Побудова ліній постійних ККД у разі зміни частоти обертання насосу

Задача 1. За паспортними характеристиками для швидкості обертання 730 об/хв. (рис. 1.5) необхідно побудувати відповідні характеристики для швидкості обертання 650 об/хв.

Розв’язання задачі: а) Побудова характеристики (Q–H): На паспортній характеристиці Q–H задаємося рядом довільних точок 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 з координатами ($Q_1 = 6800 \text{ м}^3/\text{год.}$; $H_1 = 76 \text{ м.вод.ст.}$); (Q_2 ; H_2); За формулами закону пропорційності вираховуємо відповідні координати цих точок при швидкості обертання 650 об/хв.:

$$\frac{6800}{Q_1^1} = \frac{730}{650}; \quad Q_1^1 = \frac{6800 \cdot 650}{730} \cong 6055 \text{ м}^3/\text{год.};$$

$$\frac{76}{H_1^1} = \frac{730^2}{650^2}; \quad H_1^1 = \frac{76 \cdot 650^2}{730^2} \cong 60,3 \text{ м.вод.ст.}$$

Розрахунки зведено у таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків

№ точок		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Координати точок при $n = 730 \text{ об./хв.}$	Q	6800	6000	5200	4400	3600	2800	2000	1200	0
	H	76	80,5	84	87	89	90,5	91	91,5	91,5
Координати точок при $n = 650 \text{ об./хв.}$	Q'	6055	5342	4630	3918	3205	2493	1781	1068	0
	H'	60,3	63,8	66,6	69	70,6	71,8	72,1	72,5	72,5

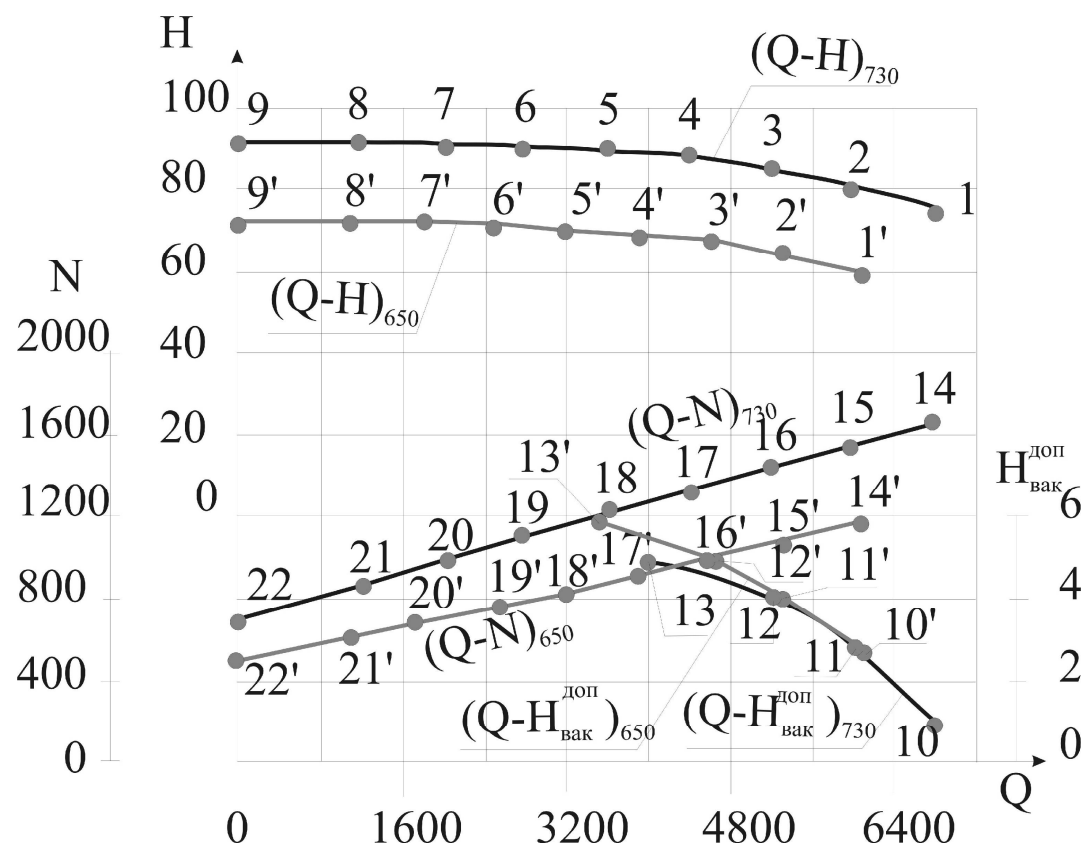


Рисунок 1.5 – Побудова характеристики насоса для швидкості обертання 650 об/хв.

За отриманими координатами наносимо на графік точки 1', 2', ... , 9' і з'єднуємо їх плавною кривою. Ця крива $(Q-H)_{650}$ і буде характеристикою $(Q-H)$ насоса при швидкості обертання 650 об/хв.

б) Побудова характеристики $Q - H_{\text{вак.}}^{\text{доп}}$: На паспортній характеристиці $Q - H_{\text{вак.}}^{\text{доп}}$ задаємося довільними точками 10, 11, 12, 13 з координатами $Q_{10}=6800 \text{ м}^3/\text{годину} - (H_{\text{вак.}}^{\text{доп}})_{10} = 1 \text{ м.вод.ст.}; Q_{11} - (H_{\text{вак.}}^{\text{доп}})_{11}$.

За формулою (1.14) вираховуємо відповідні значення $(H_{\text{вак.}}^{\text{доп}})$ при швидкості обертання 650 об/хвилину. Розрахунки зведено в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати розрахунку $(H_{\text{вак.}}^{\text{доп}})$ при швидкості обертання 650 об/хвилину

№ точок		10	11	12	13
Координати точок при $n = 730 \text{ об./хв.}$	Q	6800	6000	5200	4000
	$H_{\text{вак.}}^{\text{доп}}$	1,0	2,5	4,0	4,8
Координати точок при $n = 650 \text{ об./хв.}$	Q'	6055	5342	4630	3562
	$(H_{\text{вак.}}^{\text{доп}})'$	2,86	4,05	5,24	5,87

За отриманими координатами наносимо точки 10', 11', 12', 13' і через них проводимо нову характеристику $(Q - H_{\text{вак.}}^{\text{доп}})_{650}$. Як видно з рисунку 1.5, характеристика $H_{\text{вак.}}^{\text{доп}}$ при швидкості обертання 650 об./хв. не знизилась. Тому при розрахунках характеристику $(Q - H_{\text{вак.}}^{\text{доп}})$ часто не перебудовують.

в) Побудова характеристики $Q-N$: На паспортній характеристиці $Q-N$ задаємося рядом довільних точок 14, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 з координатами $Q_{14} = 6800 \text{ м}^3/\text{год.} - N_{14} = 1650 \text{ кВт}; Q_{15} - N_{15}; \dots$. За формулами закону пропорційності вираховуємо відповідні значення Q' і N' для швидкості обертання 650 об/хв.:

$$\frac{1650}{N_{14}^1} = \frac{730^3}{650^3}; \quad N_{14}^1 = \frac{1650 \cdot 650^3}{730^3} \cong 1165 \text{ кВт.}$$

Розрахунки зведено в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Результати розрахунку N для швидкості обертання насоса 650 об/хв.

№ точок		14	15	16	17	18	19	20	21	22
Координати точок при $n = 730 \text{ об./хв.}$	Q	6800	6000	5200	4400	3600	2800	2000	1200	0
	N	1650	1540	1430	1320	1210	1100	990	880	710
Координати точок при $n = 650 \text{ об./хв.}$	Q'	6055	5342	4630	3918	3205	2493	1781	1068	0
	N'	1165	1087	1010	932	854	777	699	621	501

За отриманими координатами наносимо точки 14', 15', ..., 22' і через них проводимо нову характеристику $(Q-N)_{650}$ для швидкості обертання 650 об./хв.

Задача 2. У процесі проектування насосної станції встановлено, що для роботи в системі потрібний насос з подачею 5600 м³/год. при напорі 68 м.вод.ст. Насоса з такими характеристиками промисловість не виробляє. Тому для установки проектується найближчий більш потужний насос. Його характеристики при частоті обертання 730 об./хв. зображено на рис. 6. Щоб уникнути непродуктивних витрат енергії, вирішено зменшити швидкість обертання насоса. Необхідно визначити, при якій частоті обертання характеристика $Q - H$ насоса пройде через розрахункову точку **A** з координатами $Q_A = 5600$ м³/год.; $H_A = 68$ м. вод. ст.

Розв'язання задачі. Щоб скористатися формулами закону пропорційності, спочатку треба знайти ту єдину точку на паспортній характеристиці $(Q - H)$, яка при зниженні частоти обертання переміститься в розрахункову точку **A** (рис. 1.6). Найпростіше цю точку можна знайти графічним способом. Для цього побудуємо параболу подібних режимів, яка буде проходити через точку **A**. Підставивши у формулу (1.15) координати точки **A**, отримуємо рівняння цієї параболі:

$$H = \frac{68}{5600^2} Q^2 = 0,00000216863 \cdot Q^2.$$

Задаючись довільними значеннями Q , вираховуємо за цим рівнянням координати ряду точок, через які проводимо параболу:

$Q_0 = 0; H_0 = 0;$	$Q_3 = 4800; H_3 = 50;$
$Q_1 = 1600; H_1 = 5,55;$	$Q_A = 5600; H_A = 68;$
$Q_2 = 3200; H_2 = 22,2;$	$Q_4 = 6400; H_4 = 88,8.$

Перехрещення цієї параболі з паспортною характеристикою $Q-H$ насоса дає точку **B** з координатами $Q_B = 6075$ м³/год.; $H_B = 80$ м.вод.ст. Оскільки точка **B** знаходиться на одній параболі подібних режимів з точкою **A**, то саме вона переміститься в точку **A** при одній із швидкостей обертання. Знаходимо цю швидкість, підставляючи у формули пропорційності координати точок **B** і **A**:

$$\frac{6075}{5600} = \frac{730}{n_A}; \quad n_A = \frac{5600 \cdot 730}{6075} = 672,9 \text{ об./хв.}$$

Близькі значення отриманих величин n_A свідчать, що координати точки **B** знайдено досить точно (графічний спосіб завжди приблизний). Після знаходження розрахункової швидкості обертання слід перерахувати характеристики насоса, як це було зроблено у попередній задачі.

$$\frac{80}{68} = \frac{730^2}{n_A^2}; \quad n_A = 730 \sqrt{\frac{68}{80}} = 673,0 \text{ об./хв.}$$

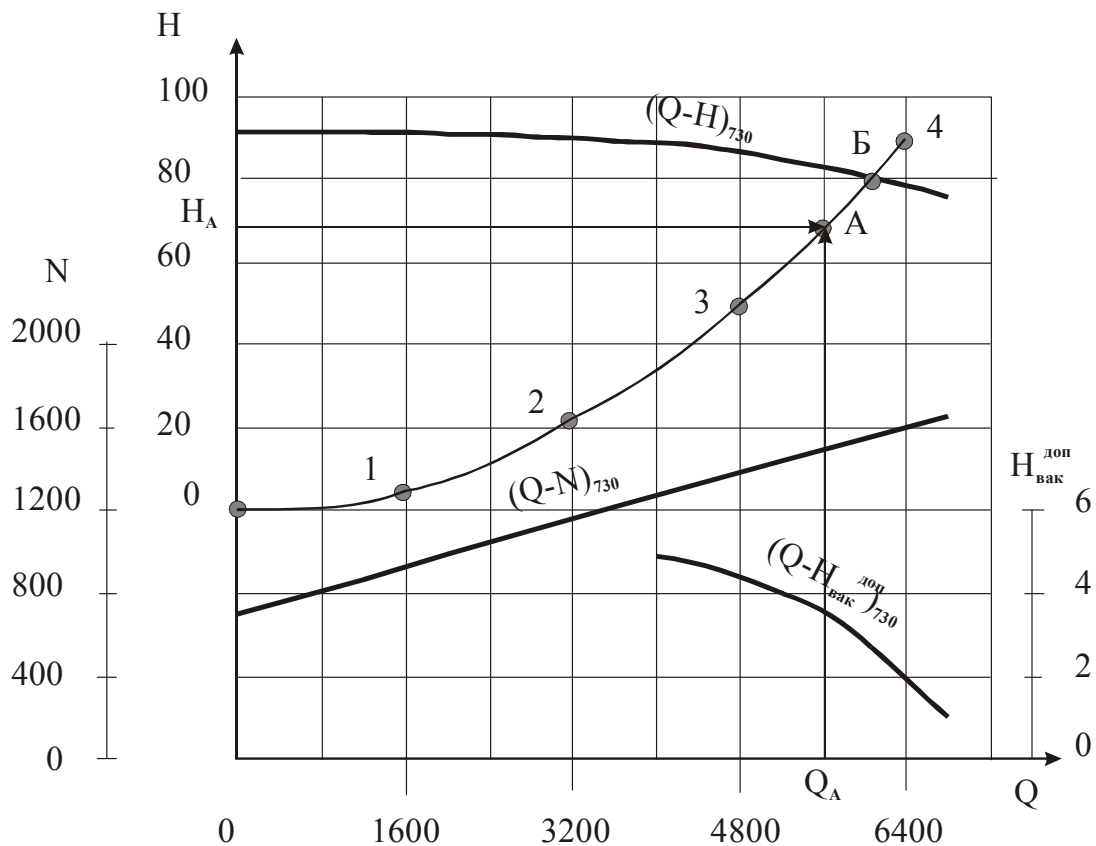


Рисунок 1.6 – Побудова параболи подібних режимів у разі розрахунку нової частоти обертання робочого колеса насоса

1.6 Обточування робочого колеса відцентрового насоса

Для розширення поля роботи насоса в практиці проектування і експлуатації часто використовують обточування робочого колеса насоса, тобто зменшують зовнішній діаметр колеса D_2 .

Подачу $Q_{обт}$ і напір $H_{обт}$ насоса з робочим колесом, яке обточено до діаметра $D_{обт}$, можна визначити із рівнянь закону подібності, якщо відомі подача Q і напір H насоса з номінальним (не обточеним) колесом діаметром D .

Із закону подібності при $n = \text{const}$ і $b_2 = \text{const}$ маємо:

$$\frac{H_{обт}}{H} = \left(\frac{D_{обт}}{D} \right)^2 \quad \text{і} \quad \frac{Q_{обт}}{Q} = \left(\frac{D_{обт}}{D} \right)^3. \quad (1.16)$$

Але практика показала, що для відцентрових насосів з коефіцієнтом швидкохідності $n_s < 150$ кращі результати дають формули:

$$\begin{aligned}\frac{Q_{обт}}{Q} &= \frac{D_{обт}}{D}; \\ \frac{H_{обт}}{H} &= \left(\frac{D_{обт}}{D}\right)^2; \\ \frac{N_{обт}}{N} &= \left(\frac{D_{обт}}{D}\right)^3.\end{aligned}\tag{1.17}$$

Це пояснюється тим, що при обточуванні змінюється не тільки зовнішній діаметр робочого колеса, але й робочий кут лопатки β_2 .

При розрахунках обточування за останніми формулами режимні точки переміщуються по квадратичних параболах з вершинами у началі координат, а характеристики **Q – H** насоса з обточеним колесом будують аналогічно характеристикам з іншою частотою обертання.

Коефіцієнт корисної дії відцентрового насоса при обточуванні робочого колеса можна розрахувати за формулою Муді:

$$\eta_{обт} = 1 - (1 - \eta) \left(\frac{D}{D_{обт}} \right)^{0,25}.\tag{1.18}$$

Приблизно можна вважати, що при обточуванні робочого колеса в межах допустимої величини, ККД насоса зменшується на 1% на кожні 10% обточки при $n_s < 200$, і на 1 % на кожні 4 % обточки при $n_s = 200 - 300$.

Залежно від коефіцієнта швидкохідності найбільша обточка робочого колеса не повинна перевищувати таких значень:

при $n_s < 120$	$\frac{D - D_{обт}}{D} 100 \leq 15 \div 20 \%;$
при $120 < n_s < 200$	$\frac{D - D_{обт}}{D} 100 \leq 11 \div 15 \%;$
при $200 < n_s < 300$	$\frac{D - D_{обт}}{D} 100 \leq 7 \div 11 \%.$

Обточування робочих колес діагональних (напівосьових) і осьових насосів не рекомендується.

У разі необхідності обточування робочого колеса доводиться розв'язувати таку задачу: в технічному паспорті насоса (або у каталозі) є характеристика **Q–H** насоса для номінального робочого колеса діаметром **D**. Режимна точка **A** (**Q_a**; **H_a**) не співпадає з цією характеристикою і лежить нижче за неї. Треба визначити діаметр **D_{обт}**, до якого слід обточити робоче колесо, щоб характеристика **Q_{обт} – H_{обт}** пройшла через точку **A** (рис. 1.7).

Для розв'язання цієї задачі за допомогою формул перерахунку будують параболу подібних режимів, яка проходить через точку **A** (див. задачу 2 із попереднього параграфа). Рівняння цієї параболи має вигляд: $H = \frac{H_a}{Q_a^2} Q^2$.

Задавшись різними значеннями витрат **Q₁**; **Q₂**; **Q₃**, вираховують відповідні значення напорів **H₁**; **H₂**; **H₃** і будують параболу подібних режимів **1; A; 2; 3**. Перехрещення цієї параболи з кривою **Q–H** дає точку **B**, яка після

обточування переміститься у точку **A**. Після цього визначають діаметр обточеного колеса, прийнявши $Q_{обт} = Q_A$: $D_{обт} = D \frac{Q_{обт}}{Q_3}$. Окрім того перевіряють величину $D_{обт}$ за формулою: $D_{обт} = D \sqrt{\frac{H_{обт}}{H_3}}$.

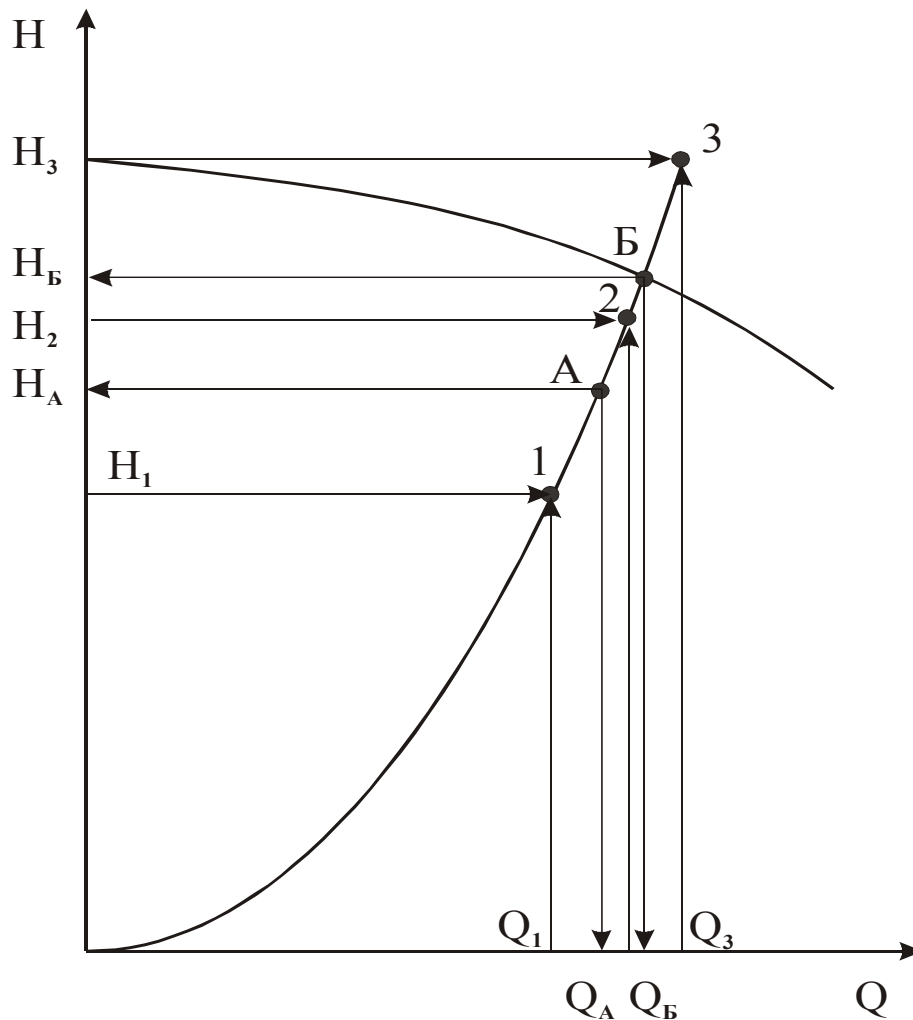


Рисунок 1.7 – Побудова параболи подібних режимів у разі обточування робочого колеса

Вираховують процент обточки $(D - D_{обт}) / D$ і порівнюють його із допустимим для даного типу насосів. За величиною процента обточки або за формулою (1.18), знаходять величину зниження коефіцієнта корисної дії насоса.

Для побудови характеристики $Q_{обт} - H_{обт}$ після того, як знайдено $D_{обт}$, на характеристиці $Q - H$ беруть кілька довільних точок і вираховують координати, куди ці точки перемістяться після обточування (див. задачу 1 з попереднього параграфа). Потім через отримані точки проводять плавну криву,

яка і буде характеристикою $Q_{\text{обт}} - H_{\text{обт}}$ насоса з робочим колесом, обточеним до величини $D_{\text{обт}}$.

1.7 Сумісна робота насосів і трубопроводної мережі

Під час проектування, а також під час аналізу роботи діючих насосних станцій виникає потреба у визначенні робочих режимів насосів.

Робочою точкою насоса, що характеризує його режим при роботі на напірний трубопровід, називається точка перехрещення характеристики $Q - H$ насоса з характеристикою трубопроводу.

Задачу знаходження робочої точки насоса легко вирішувати графічно шляхом нанесення на єдине поле координат характеристик насоса і трубопроводу. Характеристику насоса при цьому беруть із технічного паспорта або з каталогу насосів (рис. 1.8).

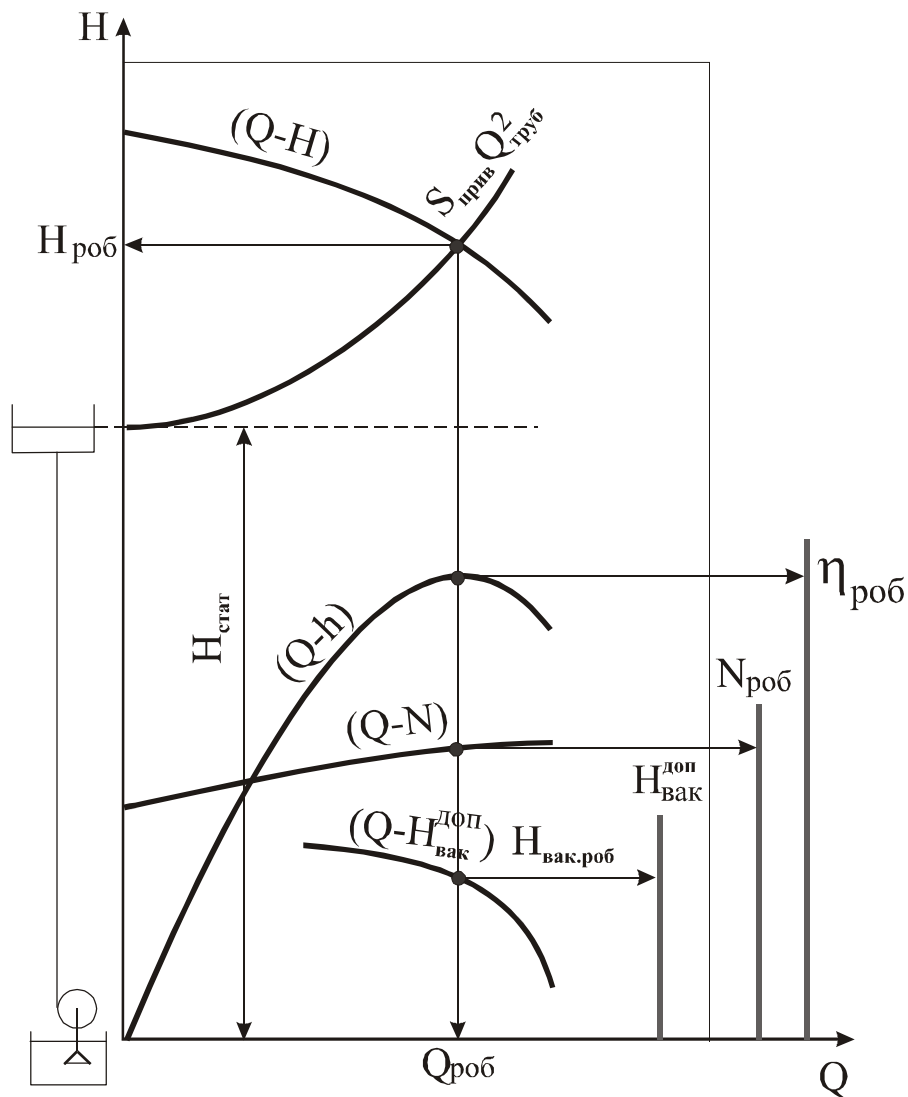


Рисунок 1.8 – Побудова сумісної роботи насоса та трубопроводу

Для побудови графічної характеристики трубопроводу користуються

формулою

$$H_{\text{труб}} = H_{\text{стат}} + S_{\text{прив}} \cdot Q_{\text{труб}}^2, \quad (1.19)$$

де $S_{\text{прив}}$ – приведений коефіцієнт опору трубопроводу, який враховує втрати напору у водоводах, комунікаціях насосної станції і у водопровідній мережі;

$H_{\text{стат}} = (H_{\text{геом}} + H_{\text{вільн}})$ – статична висота підйому, що складається з геометричної висоти підйому й вільного напору в кінці трубопроводу.

Приймаючи різні значення $Q_{\text{труб}}$, вираховують відповідні значення $H_{\text{труб}}$ і отримані результати наносять у вигляді точок на графік, де вже нанесено характеристику $Q - H$ насоса. Через отримані точки проводять плавну криву, яка і буде характеристикою трубопроводу. Вона має вигляд параболи з вершиною у точці $Q = 0; H = H_{\text{стат}}$ (див. рис. 1.8).

Точка перехрещення характеристик насоса і трубопроводу є робочою точкою системи. Вона визначає всі параметри роботи насоса ($Q_{\text{роб}}; H_{\text{роб}}; N_{\text{роб}}; \eta_{\text{роб}}; H_{\text{вак.роб}}$) на даний трубопровід. Більшої витрати по даному трубопроводу насос подати не може.

1.8 Паралельна робота кількох однотипних насосів на два водоводи

Необхідно визначити режим роботи системи, що складається з трьох однотипних насосів, які працюють на два паралельні водоводи. Відомі характеристики насосів. Раз насоси однотипні, то характеристики всіх трьох насосів співпадають між собою. Відомі характеристики кожного з водоводів $S_a Q^2$ і $S_b Q^2$. На рисунку 1.9 зображено характеристики двох водоводів, які подають воду від насосної станції у спільний резервуар і мають різні коефіцієнти опору (наприклад різні діаметри). Слід визначити режим роботи всієї системи в цілому, а також, кожного з насосів і водоводів окремо. Крім того, слід проаналізувати різні варіанти роботи цієї системи (роботу одного, двох і трьох насосів на один і два водоводи).

Для аналізу різних варіантів роботи системи слід побудувати сумарні характеристики паралельної роботи двох і трьох насосів, а також сумарну характеристику паралельної роботи двох водоводів.

Сумарні характеристики паралельної роботи двох $(Q-H)_{1+2}$ і трьох $(Q-H)_{1+2+3}$ насосів будуємо так же, як і в попередньому параграфі. Подвоюючи, і потроюючи абсциси характеристики $(Q-H)_{1,2,3}$ при рівних напорах отримуємо дві сумарні характеристики насосів.

Принцип побудови сумарної характеристики паралельної роботи двох водоводів той же, що й під час побудови сумарної характеристики насосів. За рівних напорів сумують витрати по кожному з водоводів. Фізична суть цієї побудови така. Характеристика трубопроводу показує, який напір слід створити на початку трубопроводу, щоб у ньому підтримувалася потрібна витрата. За допомогою характеристики трубопроводу можна розв'язати і зворотне завдання. Якщо відомий напір на початку трубопроводу, то за характеристикою можна визначити, яка витрата буде в трубопроводі при цьому напорі.

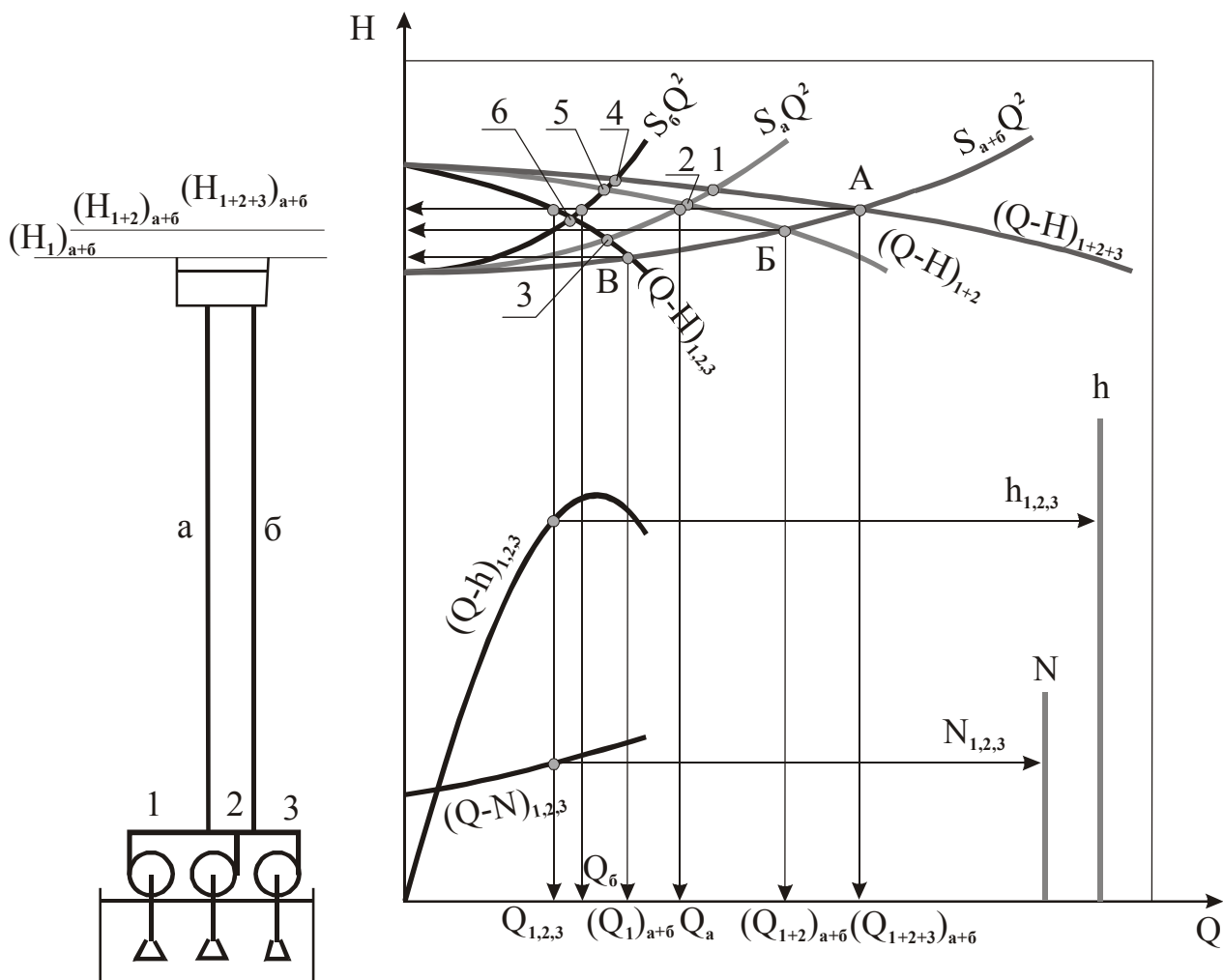


Рисунок 1.9 – Паралельна робота трьох однотипних насосів на два різних трубопроводи

Під час побудови сумарної характеристики використовують саме це зворотне завдання. Ми задаємося довільним напором на початку трубопроводів і визначаємо, яка витрата при цьому напорі буде по кожному з водоводів. У разі одночасної паралельної роботи водоводів сумарна витрата по двох водоводах при цьому напорі дорівнюватиме сумі витрат по кожному з водоводів. Задаючись різними напорами, отримуємо ряд точок сумарної характеристики водоводів. Проводячи через ці точки плавну криву, одержуємо сумарну характеристику $S_{a+б}Q^2$ двох водоводів, які працюють паралельно.

Точка перехрещення сумарної характеристики водоводів і сумарної характеристики трьох насосів (точка А) є робочою точкою системи і визначає всі параметри роботи системи:

$(Q_{1+2+3})_{a+б}$ – подача трьох насосів при роботі на два водоводи;

$(H_{1+2+3})_{a+б}$ – створюваний при цьому напір;

Q_a і $Q_б$ – витрати відповідно по водоводу а і водоводу б,

$$Q_a + Q_б = (Q_{1+2+3})_{a+б} ;$$

$Q_{1,2,3}$ – подача кожного з насосів при їх паралельній роботі на два водоводи $Q_1+Q_2+Q_3=(Q_{1+2+3})_{a+б}$;

$N_{1,2,3}$ – потужність кожного з насосів;

$\eta_{1,2,3}$ – коефіцієнт корисної дії кожного із насосів.

У випадку роботи двох насосів на два водоводи робочою точкою буде точка **Б**. При цьому витрата в системі буде $(Q_{1+2})_{a+b}$, а напір – $(H_{1+2})_{a+b}$.

При роботі одного насоса на два водоводи робочою точкою буде точка **В**, а витрата і напір відповідно $(Q_1)_{a+b}$ і $(H_1)_{a+b}$.

Якщо відключити один водовід **б** і працювати трьома насосами тільки на водовід **а**, то робочою точкою буде точка **1**. При роботі двох і одного насоса на водовід **а** робочими точками будуть відповідно точки **2** і **3**.

Якщо відключити водовід **а** і працювати тільки на водовід **б**, то при роботі трьох, двох і одного насоса робочими точками будуть відповідно точки **4**, **5** і **6**. Усі параметри роботи системи в цих випадках визначаються робочими точками і на рисунку не показані, щоб не захащувати креслення.

Якщо із роботи будуть виключатися тільки окремі ділянки водоводів, а не водоводи цілком (наприклад при наявності перемичок між водоводами), то сумарна характеристика водоводів у цих випадках займатиме проміжне положення між лініями $S_{a+b}Q^2$ і S_bQ^2 .

1.9 Послідовна робота насосів

Послідовною називають таку роботу насосів, коли один з них бере воду з резервуара і подає її в усмоктувальний патрубок другого, а цей останній подає воду в напірний трубопровід.

Під час проектування послідовної роботи насосів слід перевірити й узгодити із заводом – виробником, який тиск може витримувати другий (за рухом рідини) насос. Якщо сумарний тиск, який створюють два насоси, більший за дозволenu величину, то даний насос використовувати в такій системі не можна.

Для побудови сумарної характеристики насосів, які працюють послідовно, слід скласти ординати характеристик **Q–H** цих насосів при однакових подачах. Тобто спільний напір, який створюють насоси при послідовній роботі, дорівнює сумі напорів, які створюють окремі насоси. У випадку послідовної роботи двох однакових насосів ординати характеристики **Q–H** подвоюються.

На рисунку 1.10, *а* зображена сумарна характеристика послідовної роботи двох однакових насосів для випадку, коли кожний з них окремо не в змозі підняти воду на потрібну висоту ($H_{\text{геом}} > H_0$).

Характеристику сумісної роботи двох насосів $(Q-H)_{I+II}$ отримано подвоєнням ординат характеристики кожного з насосів (крива $(Q-H)_{I,II}$), наприклад ординати H_6 в точці **б** при подачі Q_6 . Робоча точка системи (точка **А**) лежить на перехрещенні сумарної характеристики двох насосів з характеристикою трубопроводу.

Насоси включають послідовно і в тих випадках, коли один насос у змозі подати воду в систему ($H_{\text{геом}} < H_0$), але не може забезпечити при цьому необхідну подачу. Побудова сумарної характеристики двох однакових насосів для такого випадку показана на рисунку 1.10, *б*. Як видно з цього рисунка,

послідовне включення насосів дозволяє збільшити не тільки напір, але і подачу води.

У разі послідовної роботи двох різнотипних насосів (насосів з неоднаковими характеристиками) сумарна крива їх сумісної роботи будується шляхом складання ординат характеристик кожного із насосів при однакових подачах.

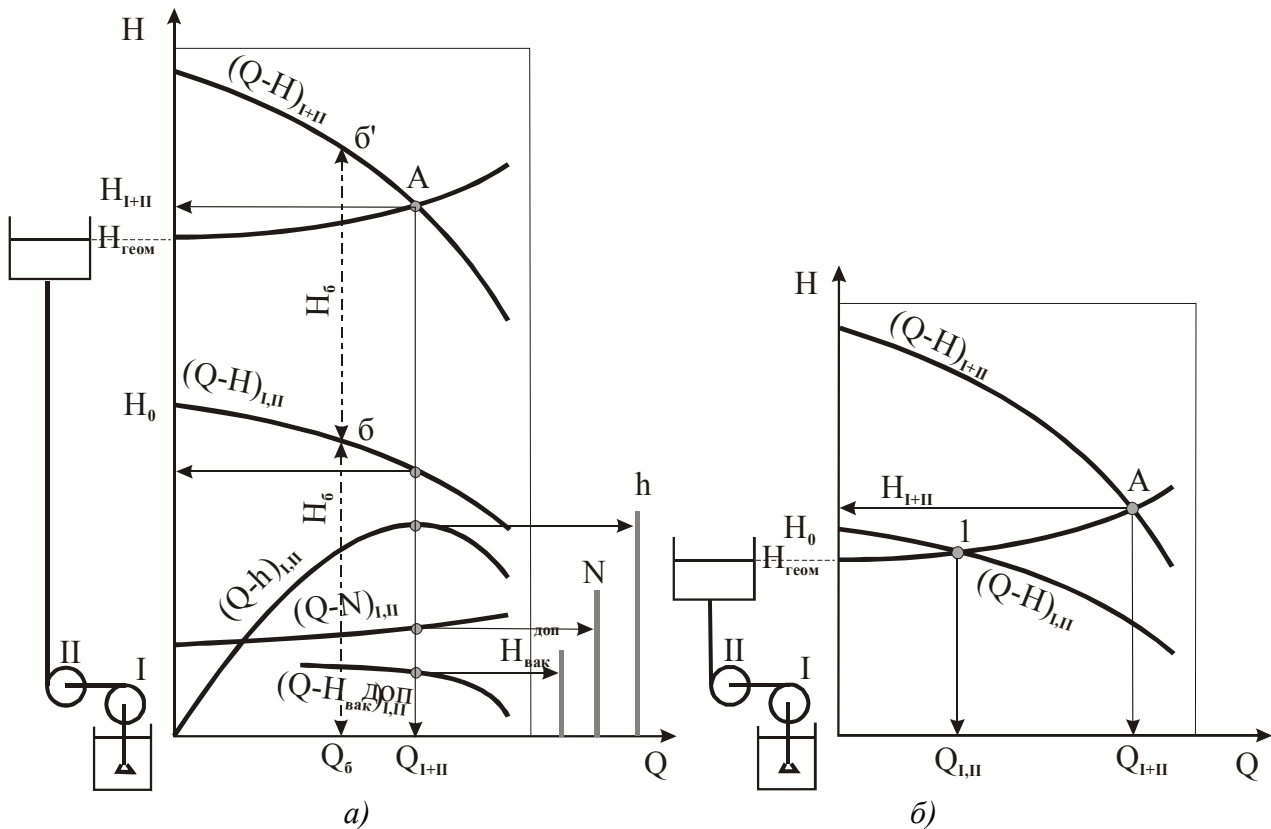


Рисунок 1.10 – Послідовна робота насосів:

а) якщо $H_{\text{геом}} > H_0$; б) якщо $H_{\text{геом}} < H_0$

У практиці транспортування рідини на великі відстані при значних геометричних висотах підйому буває необхідно розміщувати насоси, які працюють послідовно, на значних відстанях один від одного (тобто влаштовувати станції підкачки).

Характеристику сумісної роботи в цьому випадку будують так (рис. 1.11). При заданих характеристиках насосів $(Q-H)_I$ і $(Q-H)_{II}$ спочатку будують характеристику насоса I, приведену до точки б (точки де трубопровід від насоса I підключено до насоса II). Для цього від ординат кривої $(Q-H)_I$ віднімають втрати напору в трубопроводі на ділянці аб, користуючись характеристикою цього трубопроводу (крива $S_{ab}Q^2$). Таким чином отримують характеристику насоса I, приведену до точки б $(Q-H)_{Iб}$. Потім ординати цієї кривої сумують з ординатами характеристики насоса II і отримують сумарну характеристику сумісної роботи насосів I і II (крива $(Q-H)_{I+II}$).

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Задача 1

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: Насос буде встановлено на висоті 900 метрів над рівнем моря, він буде перекачувати воду температурою 50 °С з відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода $S = 0,6 \times 10^{-6}$ (для м³/год). Діаметр усмоктувального патрубку – 500 мм. Розрахункова подача – $Q = 300$ л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику $Q-\Delta h$, згідно з якою при розрахунковій подачі $\Delta h = 6,5$ м. вод. ст.

Задача 2

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: Насос буде встановлено на висоті 800 метрів над рівнем моря, він буде перекачувати воду температурою 60 °С із відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода $S = 0,1 \times 10^{-6}$ (для м³/год). Діаметр усмоктувального патрубку – 600 мм. Розрахункова подача – $Q = 1000$ л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику $Q-\Delta h$, згідно з якою при розрахунковій подачі $\Delta h = 6$ м. вод. ст.

Задача 3

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: Насос буде встановлено на висоті 1500 метрів над рівнем моря і він буде перекачувати воду температурою 60 °С із відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода $S = 0,8 \times 10^{-8}$ (для м³/год). Діаметр усмоктувального патрубку – 800 мм. Розрахункова подача – $Q = 1500$ л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику $Q-\Delta h$, згідно з якою при розрахунковій подачі $\Delta h = 5,5$ м. вод. ст.

Задача 4

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: Насос буде встановлено на висоті 700 метрів над рівнем моря і він буде перекачувати воду температурою 50 °С із відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода $S = 0,1 \times 10^{-6}$ (для м³/год). Діаметр усмоктувального патрубку – 600 мм. Розрахункова подача – $Q = 1000$ л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику $Q - H_{\text{доп}}^{\text{вак}}$, згідно з якою при розрахунковій подачі $(H_{\text{доп}}^{\text{вак}})_{\text{пасп}} = 4,0$ м. вод. ст.

Задача 5

Визначити найбільшу можливу геометричну висоту всмоктування для насоса, коли відомо наступне: Насос буде встановлено на висоті 2000 метрів над рівнем моря, він буде перекачувати воду температурою 40 °С із відкритого резервуару. Коефіцієнт опору всмоктувального трубопровода $S = 1,2 \times 10^{-8}$ (для м³/год). Діаметр усмоктувального патрубку – 800 мм. Розрахункова подача –

$Q = 1500$ л/с. У технічному паспорті насоса наведено характеристику $Q - H_{\text{доп}}^{\text{вак}}$, згідно з якою при розрахунковій подачі $(H_{\text{доп}}^{\text{вак}})_{\text{пасп}} = 4,5$ м. вод. ст.

Задача 6

Визначити напір насоса за показаннями приладів, коли відомо наступне: насос перекачує воду і розвиває подачу $600 \text{ м}^3/\text{год}$. Манометр, який підключено до напірного патрубка насоса, показує тиск $(0,42 \text{ МПа (4,2 атм)})$, а вакуумметр, який підключено до всмоктувального патрубка насоса, показує вакуум $0,05 \text{ МПа (0,5 атм)}$. Манометр розміщено на 4 м вище осі насоса, а вакуумметр – на тій же відмітці, що і вісь насоса. Діаметр усмоктувального патрубка – 400 мм, діаметр напірного патрубка – 300 мм.

Задача 7

Визначити напір насоса за показаннями приладів, коли відомо наступне: насос перекачує воду і розвиває подачу $250 \text{ м}^3/\text{год}$. Манометр, який підключено до напірного патрубка насоса, показує тиск $(0,46 \text{ МПа (4,6 атм)})$, а вакуумметр, який підключено до всмоктувального патрубка насоса, показує вакуум $0,045 \text{ МПа (0,45 атм)}$. Манометр розміщено на 3 м вище осі насоса, а вакуумметр – на тій же відмітці, що і вісь насоса. Діаметр усмоктувального патрубка 250 мм, діаметр напірного патрубка – 300 мм.

Задача 8

Визначити напір насоса за показаннями приладів, коли відомо наступне: насос перекачує воду і розвиває подачу $1600 \text{ м}^3/\text{год}$. Манометр, який підключено до напірного патрубка насоса, показує тиск $(0,56 \text{ МПа (5,6 атм)})$, а вакуумметр, який підключено до всмоктувального патрубка насоса, показує вакуум $0,08 \text{ МПа (0,8 атм)}$. Манометр розміщено на 5 м вище осі насоса, а вакуумметр – на 4 м вище осі насоса. Діаметр усмоктувального патрубка 500 мм, діаметр напірного патрубка – 400 мм.

Задача 9

Визначити напір насоса за показаннями приладів, коли відомо наступне: насос перекачує воду і розвиває подачу $3600 \text{ м}^3/\text{год}$. Манометр, який підключено до напірного патрубка насоса, показує тиск $(0,63 \text{ МПа (6,3 атм)})$, а вакуумметр, який підключено до всмоктувального патрубка насоса, показує вакуум $0,02 \text{ МПа (0,2 атм)}$. Манометр розміщено на 1 м нижче осі насоса, а вакуумметр – на 2 м нижче осі насоса. Діаметр усмоктувального патрубка 700 мм, а діаметр напірного патрубка – 600 мм.

Задача 10

Для насоса з номінальною частотою обертання робочого колеса $n = 2950$ об/хв, характеристика $(Q - H)$ якого подана в таблиці, визначити нову частоту обертання, виходячи з умови, що розрахункова подача насоса складає 70 л/с, а напір – 65 м вод. ст.

Н, м вод. ст	85,0	83,5	82,0	80,5	79,0	70,0	57,0
Q, м³/год	0,0	50,0	100,0	200,0	250,0	300,0	350,0

Задача 11

Для насоса з номінальною частотою обертання робочого колеса $n = 2950$ об/хв, характеристика $(Q - H)$ якого подана в таблиці, побудувати нову характеристику $(Q - H)_1$, виходячи з умови, що нова частота обертання робочого колеса складає $n_1 = 1750$ об/хв.

Н, м вод. ст	85,0	83,5	82,0	80,5	79,0	70,0	57,0
Q, м³/ год	0,0	50,0	100,0	200,0	250,0	300,0	350,0

Задача 12

Для насоса з номінальною частотою обертання робочого колеса $n = 1450$ об/хв, характеристика $(Q - H)$ якого подана в таблиці, визначити нову частоту обертання, виходячи з умови, що розрахункова подача насоса складає 1380 м³/год, а напір – 70 м вод. ст.

Н, м вод. ст	108,0	107,5	107,0	105,0	99,0	90,0	82,0
Q, л/с	0,0	55,0	110,0	220,0	330,0	440,0	485,0

Задача 13

Для насоса з номінальною частотою обертання робочого колеса $n = 4550$ об/хв, характеристика $(Q - H)$ якого подана в таблиці, побудувати нову характеристику $(Q - H)_1$, виходячи з умови, що нова частота обертання робочого колеса складає $n_1 = 900$ об/хв.

Н, м вод. ст	108,0	107,5	107,0	105,0	99,0	90,0	82,0
Q, л/с	0,0	55,0	110,0	220,0	330,0	440,0	485,0

Задача 14

Для насоса з діаметром робочого колеса $D = 855$ мм, характеристика $(Q - H)$ якого подана в таблиці, визначити новий діаметр робочого колеса, виходячи з умови, що розрахункова подача складає 585 л/с, а розрахунковий напір – 80 м вод. ст.

Н, м вод. ст	118,0	118,5	117,0	113,0	105,0	97,0	85,0
Q, м³/год.	0,0	300,0	600,0	1200,0	1800,0	2100,0	2400,0

Задача 15

Для насоса з діаметром робочого колеса $D = 855$ мм, характеристика $(Q - H)$ якого подана в таблиці, побудувати нову характеристику $(Q - H)_{\text{обт}}$, виходячи з умови, що новий діаметр робочого колеса складає $D_{\text{обт}} = 750$ мм.

H, м вод. ст	118,0	118,5	117,0	113,0	105,0	97,0	85,0
Q, м³/год,	0,0	300,0	600,0	1200,0	1800,0	2100,0	2400,0

Задача 16

Для насоса з діаметром робочого колеса $D = 550$ мм, характеристика $(Q - H)$ якого подана в таблиці, визначити новий діаметр робочого колеса, виходячи з умови, що розрахункова подача складає 610 л/с, а розрахунковий напір – 11 м вод. ст.

H, м вод. ст	27,0	25,0	23,5	22,5	21,0	19,0	14,0
Q, м³/год.	0,0	400,0	800,0	1000,0	1400,0	2000,0	2600,0

Задача 17

Для насоса з діаметром робочого колеса $D = 550$ мм, характеристика $(Q - H)$ якого подана в таблиці, побудувати нову характеристику $(Q - H)_{\text{обт}}$, виходячи з умови, що новий діаметр робочого колеса складає $D_{\text{обт}} = 480$ мм.

H, м вод. ст	27,0	25,0	23,5	22,5	21,0	19,0	14,0
Q, м³/год.	0,0	400,0	800,0	1000,0	1400,0	2000,0	2600,0

Задача 18

Два однакових відцентрових насоса, характеристики $Q-H$ яких дані в таблиці, працюють паралельно на два паралельних водоводи. Один з водоводів діаметром $d_1 = 700$ мм ($S_0 = 0,01098 \times 10^{-6}$), а другий – діаметром $d_2 = 800$ мм ($S_0 = 0,005514 \times 10^{-6}$). Геометрична висота підйому води складає 15 м. Довжина водоводів – 1000 м.

H, м	30,0	28,0	26,5	24,5	20,5	17,0	13,0
Q, м³/год.	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса і витрату по кожному з водоводів при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

Задача 19

Два різних відцентрових насоси, характеристики Q – H яких дані в таблицях, працюють паралельно на два однакові паралельні водоводи. Діаметром кожного водоводу $d_1 = 700$ мм ($S_0 = 0,01098 \times 10^{-6}$). Геометрична висота підйому води складає 15 м. Довжина водоводів – 1000 м.

H, м	27,5	26,5	24,0	21,0	18,0	16,0	14,0
Q, м³/год	0	1000	2000	3000	3500	4000	4500

H, м	30,0	28,0	26,5	24,5	20,5	17,0	13,0
Q, м³/год.	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса і витрату по кожному з водоводів при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

Задача 20

Два однакових відцентрових насоса, характеристики Q – H яких дані в таблиці, працюють паралельно на два паралельних водоводи. Один з водоводів діаметром $d_1 = 1000$ мм ($S_0 = 0,001699 \times 10^{-6}$), а другий – діаметром $d_2 = 800$ мм ($S_0 = 0,005514 \times 10^{-6}$). Геометрична висота підйому води складає 15 м. Довжина водоводів – 1000 м.

H, м	45,0	43,5	40,5	38,0	35,5	32,0	25,0
Q, м³/год.	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса і витрату по кожному з водоводів при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

Задача 21

Два різних відцентрових насоси, характеристики Q – H яких наведені в таблицях, працюють паралельно на два однакові паралельні водоводи діаметром кожного водоводу $d_1 = 800$ мм ($S_0 = 0,005514 \times 10^{-6}$). Геометрична висота підйому води складає 15 м. Довжина водоводів – 3000 м.

H, м	45,0	43,5	40,5	38,0	35,5	32,0	25,0
Q, м³/год	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000

H, м	46,0	41,0	38,0	36,0	35,0	32,5	30,5
Q, м³/год	0	1000	1500	2000	2500	3000	3500

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса і витрату по кожному з водоводів при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

Задача 22

Два різних відцентрових насоси, характеристики Q–Н яких наведені в таблицях, працюють послідовно на водовід діаметром $d = 800$ мм ($S_0 = 0,005514 \times 10^{-6}$). Геометрична висота підйому води складає 30 м. Довжина водоводу – 1000 м.

Н, м	27,5	26,5	24,0	21,0	18,0	16,0	14,0
Q, м³/год	0	1000	2000	3000	3500	4000	4500

Н, м	32,0	31,5	29,5	27,0	24,5	21,5	18,0
Q, м³/год.	0	400	800	1200	1600	2000	2200

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу й напір кожного насоса при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

Задача 23

Два однакових відцентрових насоси, характеристики Q–Н яких дані в таблиці, працюють послідовно на водовід діаметром $d = 600$ мм ($S_0 = 0,02262 \times 10^{-6}$). Геометрична висота підйому води складає 30 м. Довжина водоводу – 1000 м.

Н, м	27,5	26,5	24,0	21,0	18,0	16,0	14,0
Q, м³/год.	0	1000	2000	3000	3500	4000	4500

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу й напір кожного насоса при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

Задача 24

Два різних відцентрових насоси, характеристики Q–Н яких дані в таблицях, працюють послідовно на водовід діаметром $d = 600$ мм ($S_0 = 0,02262 \times 10^{-6}$). Геометрична висота підйому води складає 35 м. Довжина водоводу – 2000 м.

Н, м	30,0	28,0	26,5	24,5	20,5	17,0	13,0
Q, м³/год.	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000

H, м	32,0	31,5	29,5	27,0	24,5	21,5	18,0
Q, м³/год.	0	400	800	1200	1600	2000	2200

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

Задача 25

Два однакових відцентрових насоси, характеристики Q–H яких наведені в таблиці, працюють послідовно на водовід діаметром $d = 1000$ мм ($S_0 = 0,001699 \times 10^{-6}$). Геометрична висота підйому води складає 35 м. Довжина водоводу – 2000 м.

H, м	30,0	28,0	26,5	24,5	20,5	17,0	13,0
Q, м³/год.	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000

Визначити сумарну подачу і напір насосної станції, а також подачу і напір кожного насоса при їх сумісній роботі. Питомі опори водоводів дані для витрати в л/с.

2 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Задачею для розрахунково–графічного завдання студентам передбачена побудова сумісної роботи трьох різнотипних насосів та двох однакових трубопроводів. Під час вирішення цієї задачі потрібно привести роботу системи «3 насоси + 2 водоводи» до робочої точки (робоча подача системи вказана у вихідних даних) шляхом обточування робочого колеса одного з насосів.

Приклад вирішення розрахунково–графічного завдання наведено після вихідних даних за варіантами.

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВО–ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 200–36 – 2 шт.
Д500–36 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 870.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 350 мм;
 - довжина – 1630 м.
5. Геометрична висота підйому води – 28,6 м.

2 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 80/18 – 2 шт.
СД 80/32 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 70.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 100 мм;
 - довжина – 1540 м.
5. Геометрична висота підйому води – 45 м.

3 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 320–50 – 2 шт.
 Д 5000–50 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 5500.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
– трубопровід сталевий;
– кількість – 2 шт.;
– діаметр – 800 мм;
– довжина – 2240 м.
5. Геометрична висота підйому води – 34,2 м.

4 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 25/14 – 2 шт.
СД 80/18 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 65.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 125 мм;
 - довжина – 1000 м.
5. Геометрична висота підйому води – 9 м.

5 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 200–36 – 2 шт.
Д 200–95 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 180.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 200 мм;
 - довжина – 230 м.
5. Геометрична висота підйому води – 150 м.

6 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 50/10 – 2 шт.
СД 50/56 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 75.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 100 мм;
 - довжина – 250 м.
5. Геометрична висота підйому води – 50 м.

7 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 630–90 – 2 шт.
 Д 1600–90 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 2850.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 600 мм;
 - довжина – 1240 м.
5. Геометрична висота підйому води – 74 м.

8 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 50/22,5 – 2 шт.
СД 250/22,5 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 870.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 250 мм;
 - довжина – 1670 м.
5. Геометрична висота підйому води – 18 м.

9 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 500–65 – 2 шт.
 Д 1250–65 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 2500.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 500 мм;
 - довжина – 1500 м.
5. Геометрична висота підйому води – 49 м.

10 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 16/10 – 2 шт.
СД 16/25 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 15.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 60 мм;
 - довжина – 305 м.
5. Геометрична висота підйому води – 35 м.

11 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 500–65 – 2 шт.
Д 2500–62 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 3200.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 700 мм;
 - довжина – 1600 м.
5. Геометрична висота підйому води – 57,5 м.

12 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 160/10 – 2 шт.
СД 160/45 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 160.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 150 мм;
 - довжина – 440 м.
5. Геометрична висота підйому води – 44,3 м.

13 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 800–28 – 2 шт.
Д 6300–27 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 6000.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 1000 мм;
 - довжина – 2380 м.
5. Геометрична висота підйому води – 22,5 м.

14 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 1250–14 – 2 шт.
Д 1250–125 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 1235.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 400 мм;
 - довжина – 1840 м.
5. Геометрична висота підйому води – 110,8 м.

15 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 80/32 – 2 шт.
СД 800/32 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 750.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 350 мм;
 - довжина – 1855 м.
5. Геометрична висота підйому води – 24,7 м.

16 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 500–36 – 2 шт.
Д 500–65 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 600.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 250 мм;
 - довжина – 1040 м.
5. Геометрична висота підйому води – 77 м.

17 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 200–36 – 2 шт.
Д 2000–34 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 2350.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 600 мм;
 - довжина – 1475 м.
5. Геометрична висота підйому води – 30,8 м.

18 вариант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 32/40 – 2 шт.
СД 100/40 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 150.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 250 мм;
 - довжина – 900 м.
5. Геометрична висота підйому води – 32,8 м.

19 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 200–36 – 2 шт.
Д 500–36 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 800.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 350 мм;
 - довжина – 1200 м.
5. Геометрична висота підйому води – 25 м.

20 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 50/22,5 – 2 шт.
СД 250/22,5 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 320.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 200 мм;
 - довжина – 1450 м.
5. Геометрична висота підйому води – 15,8 м.

21 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 2000–21 – 2 шт.
Д 2000–100 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 1500.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 500 мм;
 - довжина – 1300 м.
5. Геометрична висота підйому води – 118,4 м.

22 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів СД 16/10 – 2 шт.
СД 160/10 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 170.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 175 мм;
 - довжина – 1250 м.
5. Геометрична висота підйому води – 5,3 м.

23 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 800–28 – 2 шт.
Д 800–57 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 680.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 300 мм;
 - довжина – 1050 м.
5. Геометрична висота підйому води – 65 м.

24 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 2500–17 – 2 шт.
Д 2500–62 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – послідовний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 2350.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 600 мм;
 - довжина – 1500 м.
5. Геометрична висота підйому води – 59,3 м.

25 варіант

1. Марка, тип и кількість насосів Д 1000–40 – 2 шт.
Д 2500–45 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 4800.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
 - трубопровід сталевий;
 - кількість – 2 шт.;
 - діаметр – 700 мм;
 - довжина – 1500 м.
5. Геометрична висота підйому води – 23 м.

ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РГЗ

Завдання

1. Марка, тип та кількість насосів – Д 800 –28 – 2 шт.
– Д 6300–27 – 1 шт.
2. Режим роботи насосів – паралельний.
3. Розрахункова подача, м³/год. – 6500.
4. Характеристика напірного трубопроводу:
– трубопровід сталевий;
– кількість – 2 шт.;
– діаметр – 1000 мм;
– довжина – 5000 м.
5. Геометрична висота підйому води – 22,5 м.

Рішення

1. Будуємо паспортні характеристики заданих насосів (переносимо характеристики Q–H з паспорту насосу (Додаток 1) на графік рисунку 2.1). **Лінія 1** – характеристика насоса Д 800–28, **лінія 2** – характеристика насоса Д 6300–27

Марка насоса	Q, м ³ /год.	0	200	400	600	800	1000	2000	4000	6000	Д _{роб.кол} , мм.
Д 800–28	H, м	35	35	34	33	30	26	–	–	–	460
Д 6300–27	H, м	43	–	–	–	–	–	40	35	28	740

2. Будуємо характеристику роботи трубопроводу за наступною залежністю (**лінія 3**):

$$H = H_{\text{геом}} + SQ^2 = H_{\text{геом}} + A_0 \cdot l \cdot Q^2,$$

де: $A_0 = 0,001447$ (для Q в м³/с) – питомий опір трубопроводу, який приймається за [4] залежно від матеріалу і діаметру трубопроводу.

Q, м ³ /год.	0	200	400	600	800	1000	2000	4000	6000
H, м	22,5	22,5	22,52	22,59	22,70	22,86	23,06	24,73	31,43

Будуємо сумісну характеристику паралельної роботи двох трубопроводів (**лінія 4**). На сумісній характеристиці трубопроводів знаходимо точку робочої (розрахункової) подачі (6500 м³/год.) та визначаємо для неї величину робочого напору. Отримуємо точку А з координатами (6500; 28).

3. Далі визначаємо робочий режим кожного з насосів:

При H = 28 м, Q₁ = 900 м³/год., Q₂ = 6000 м³/год.

В нашій роботі ми будемо виконувати обточування робочого колеса насоса марки Д 6300–27. Тому визначаємо нову подачу для даного насоса:

$$Q_2' = Q_{заг} - 2Q_1 = 6500 - 2 \cdot 900 = 4700 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отримаємо точку M_2 (4700; 28). Координати цієї точки підставляємо для розрахунку та побудови параболи подібних режимів за наступною залежністю:

$$H_1 = \frac{H_2 \cdot Q_1^2}{Q_2^2} = \frac{28 \cdot Q_1^2}{4700^2} = 0,000001 \cdot Q_1^2.$$

Приймаючи різні значення витрати (подачі) і розрахувавши відповідні значення напору, будуємо параболу подібних режимів (**лінія 5**).

$Q, \text{ м}^3/\text{год.}$	0	200	400	600	800	1000	2000	4000	6000
$H, \text{ м}$	0	0,05	0,20	0,46	0,81	1,27	5,07	20,28	45,63

Знаходимо точку перетину паспортної характеристики насоса Д 6300–27 і параболи подібних режимів (точку перетину **лінії 2 та лінії 5**) – M_1 (4998; 32).

Для розрахунку обточування робочого колеса насоса Д 6300–27 порівнюємо координати отриманих точок M_1 та M_2 .

$$D_2 = \frac{Q_2 \cdot D_1}{Q_1} = \frac{4700 \cdot 740}{4998} = 696 \text{ мм};$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{H_2 \cdot D_1^2}{H_1}} = \sqrt{\frac{28 \cdot 740^2}{32}} = 692 \text{ мм.}$$

Приймаємо $D_2 = 694 \text{ мм}$.

Після цього розраховуємо нову паспортну характеристику насоса Д 6300–27 з робочим колесом діаметром 694 мм (**лінія 6**). Для цього використовуємо формули подібності:

$$Q_{пасп}' = \frac{D_2}{D_1} \cdot Q_{пасп} = \frac{694}{740} \cdot Q_{пасп} = 0,938 \cdot Q_{пасп};$$

$$H_{пасп}' = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \cdot H_{пасп} = \left(\frac{694}{740}\right)^2 \cdot H_{пасп} = 0,88 \cdot H_{пасп}.$$

$Q_{пасп}, \text{ м}^3/\text{год.}$	0	2000	4000	6000
$H_{пасп}, \text{ м}$	43	40	35	28
$Q_{пасп}', \text{ м}^3/\text{год.}$	0	1875,68	3751,35	5627,03
$H_{пасп}', \text{ м}$	37,82	35,18	30,78	24,63

Після побудови нової паспортної характеристики насоса Д 6300–27, будуємо характеристику паралельної роботи трьох насосів: 2 насосів Д 800–28 та нової характеристики насоса Д 6300–27 з обточеним робочим колесом (**лінія 7**) – складаємо подачі при однакових напорах.

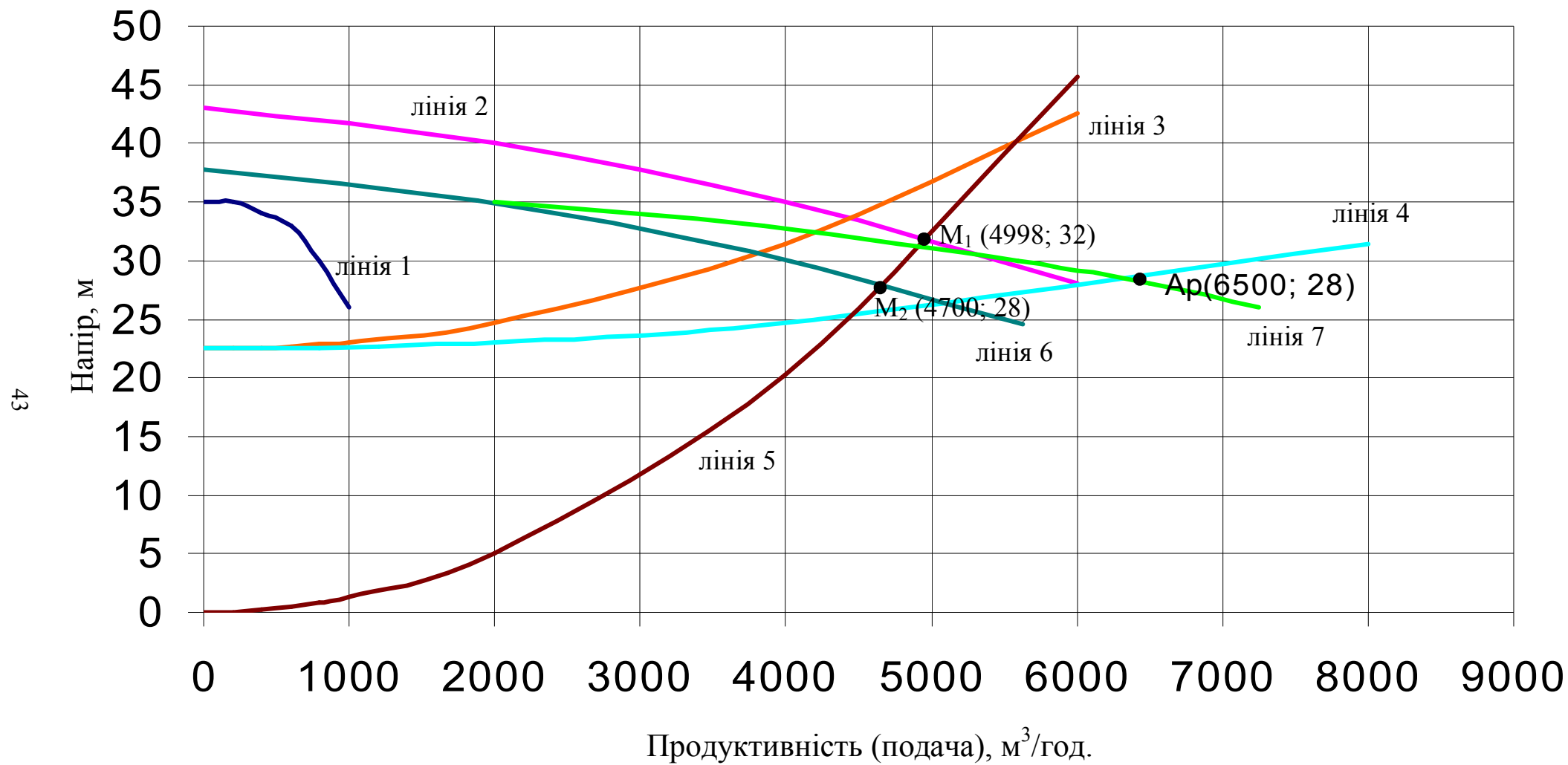


Рисунок 2.1 – Сумісна (паралельна) робота трьох різнотипних насосів на 2 напірні водоводи

ДОДАТОК А

Паспортні характеристики насосів типу Д

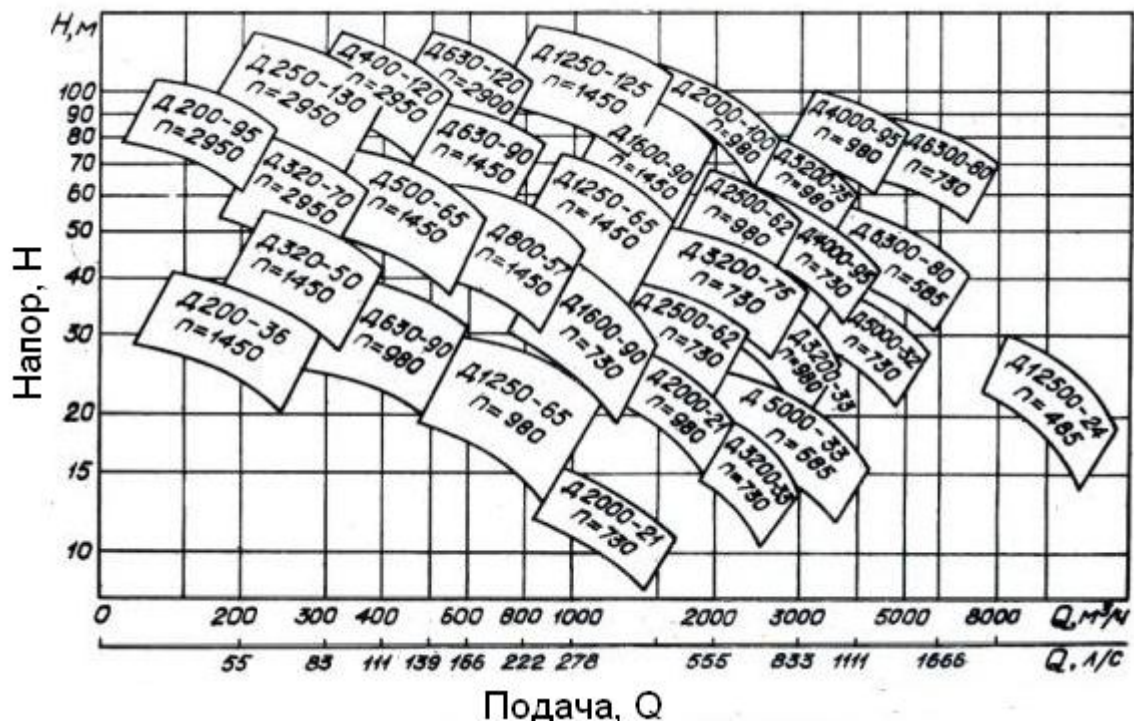


Рисунок А.1 – Зведене поле графіків насосів марки Д

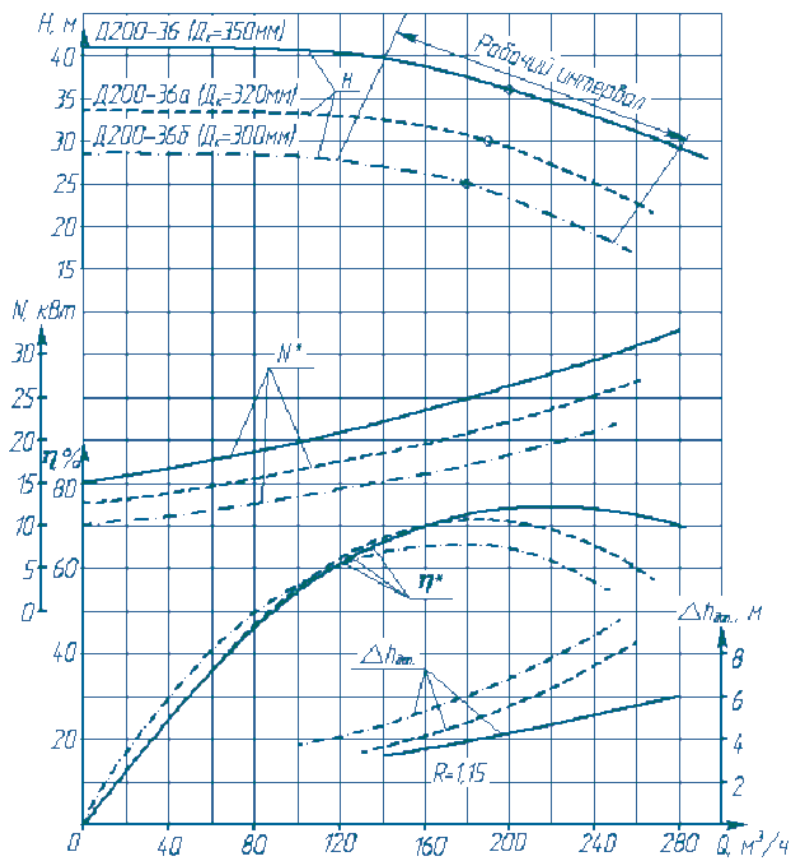


Рисунок А.2 – Характеристика насосу Д 200–36

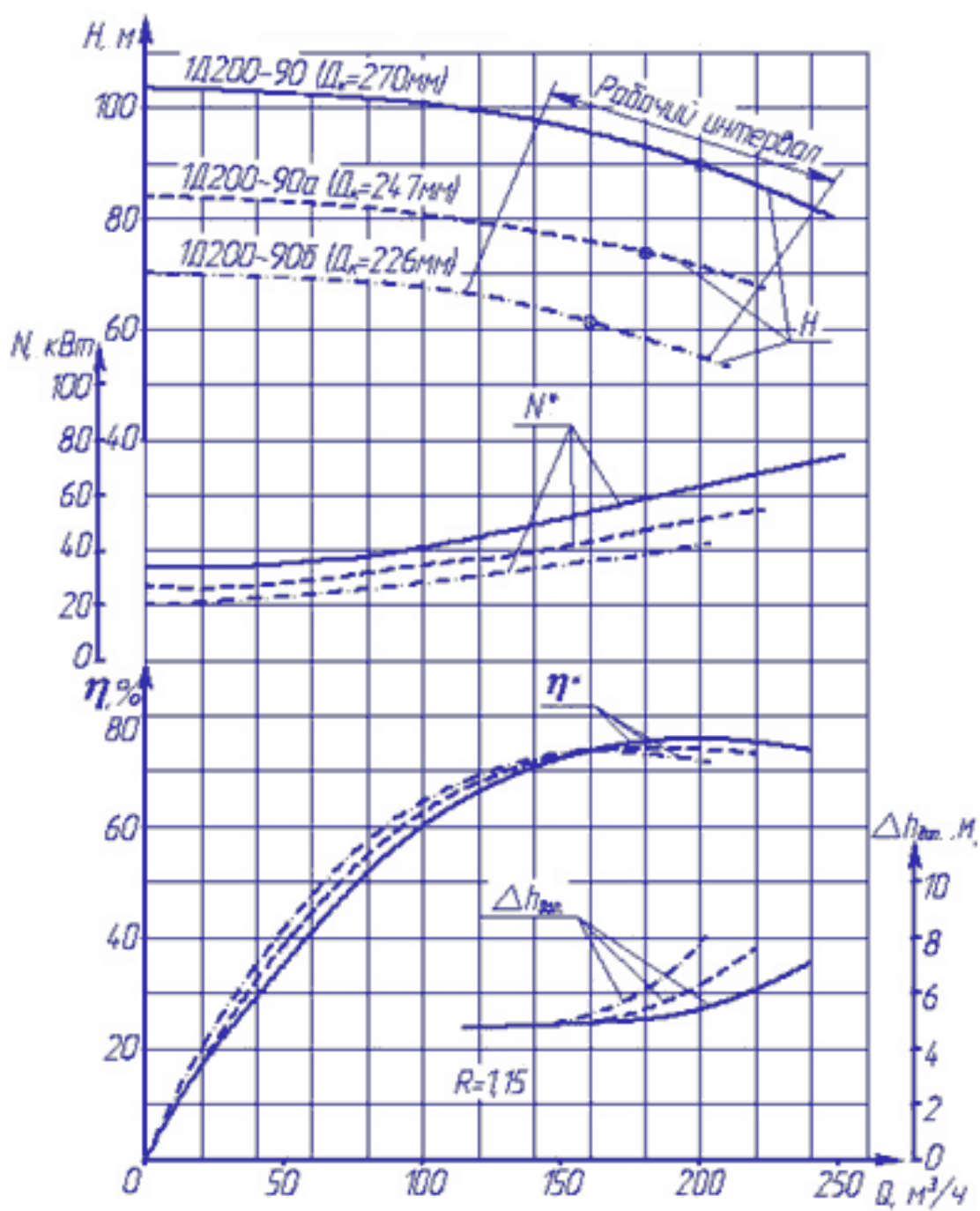


Рисунок А.3 – Характеристика насоса Д 200–90

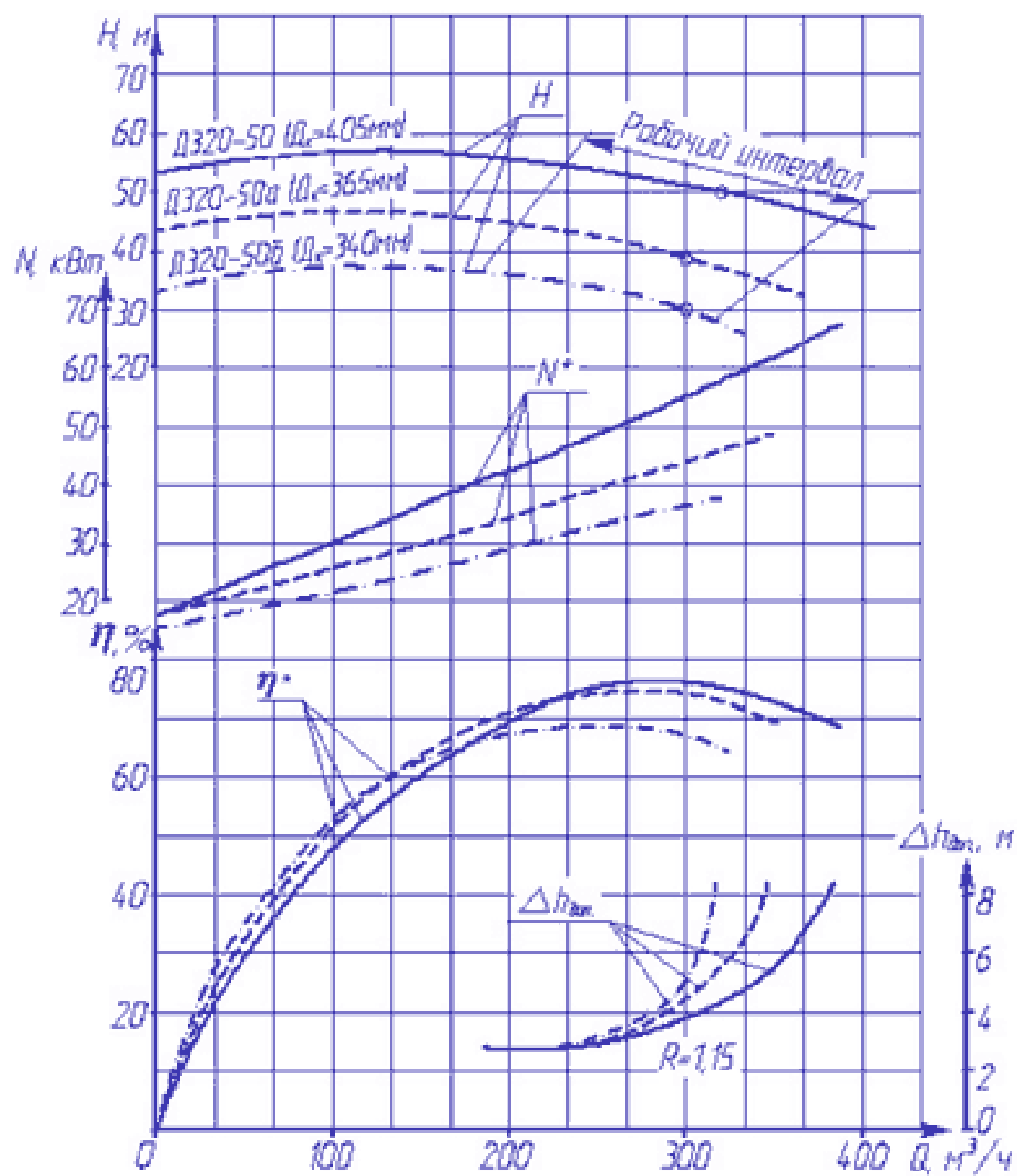


Рисунок А.4 – Характеристика насоса Д 320–50

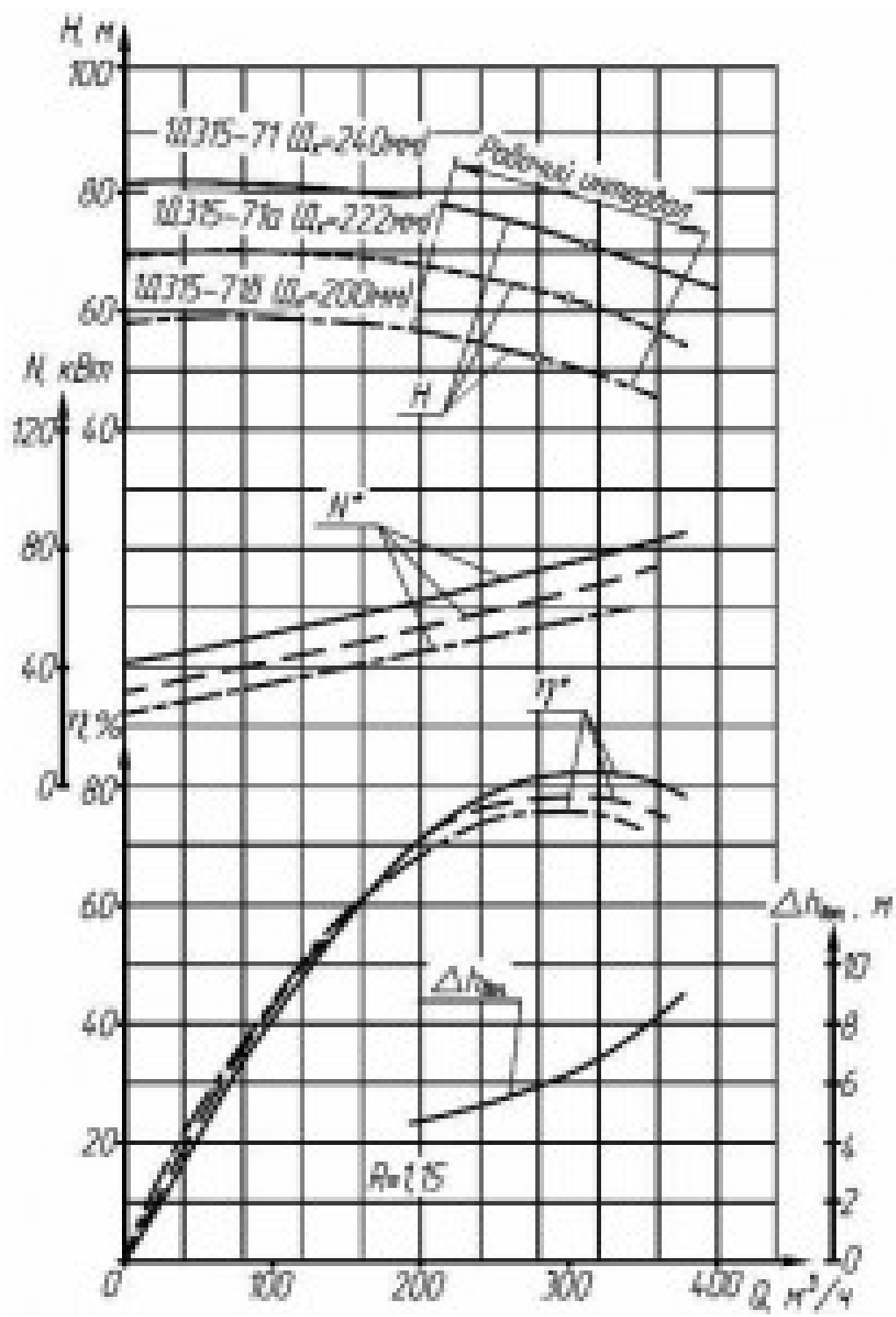


Рисунок А.5 – Характеристика насосу Д 320–70

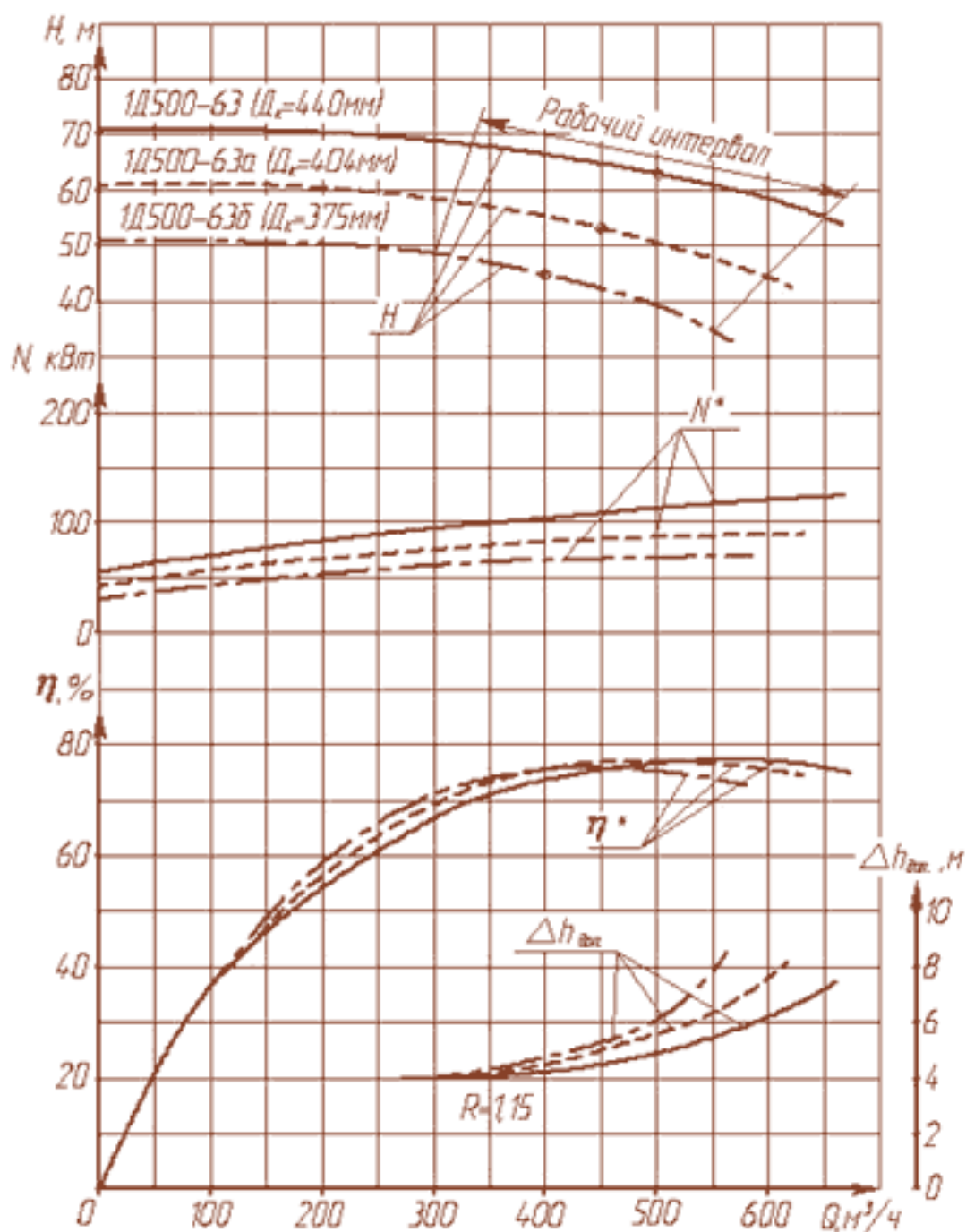


Рисунок А.6 – Характеристика насоса Д 500–65

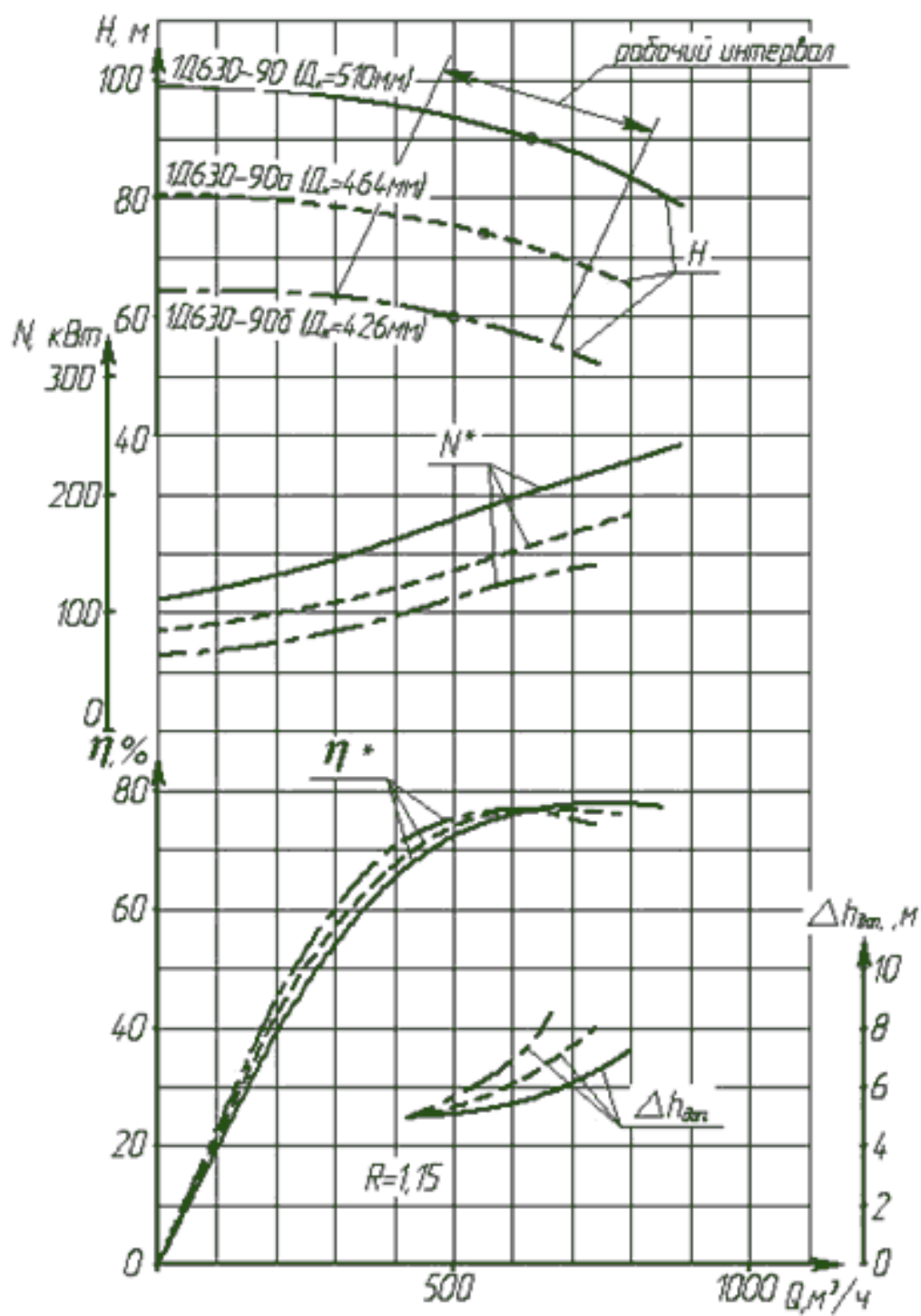


Рисунок А.7 – Характеристика насосу Д 630–90

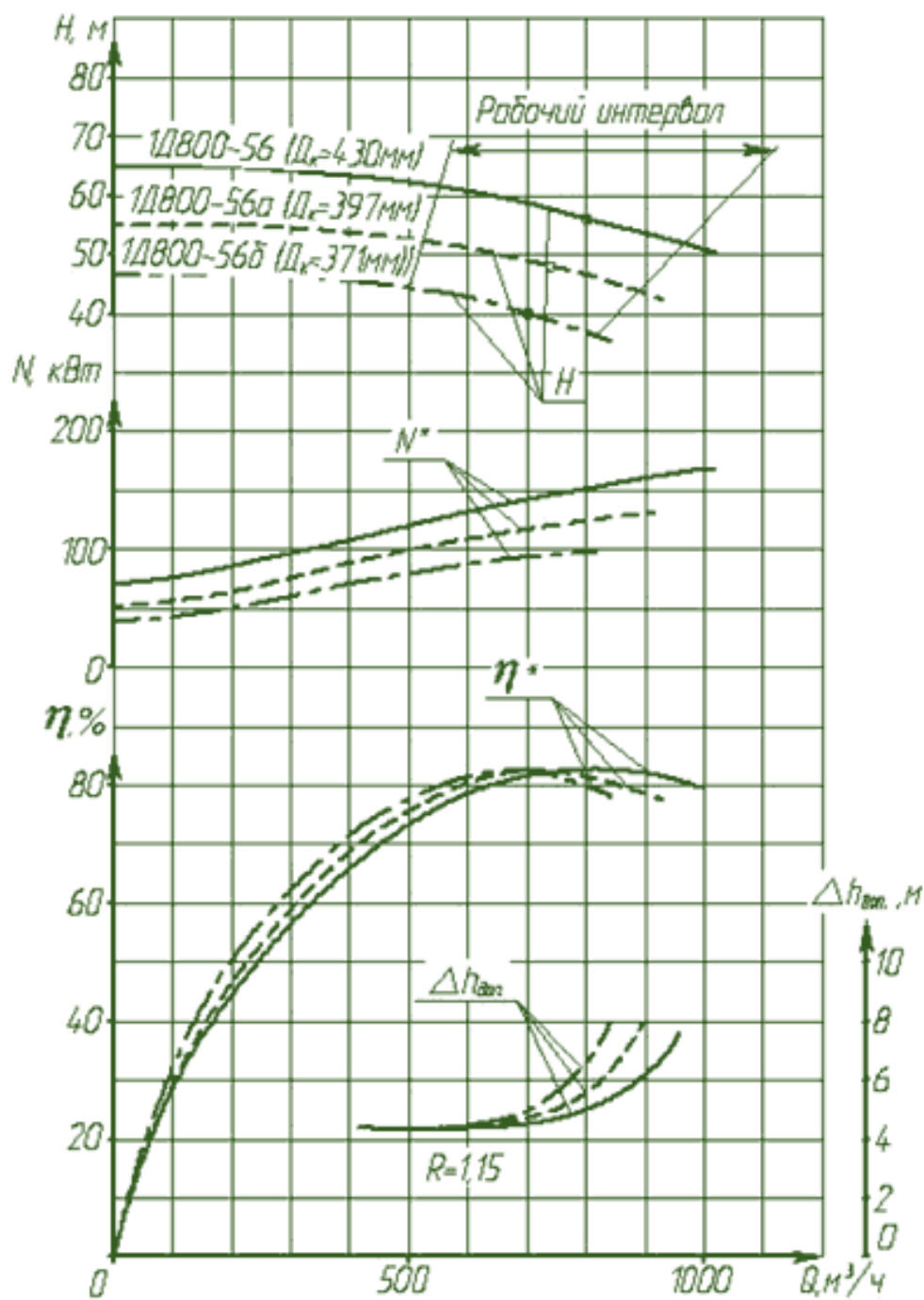


Рисунок А.8 – Характеристика насосу Д 800–57

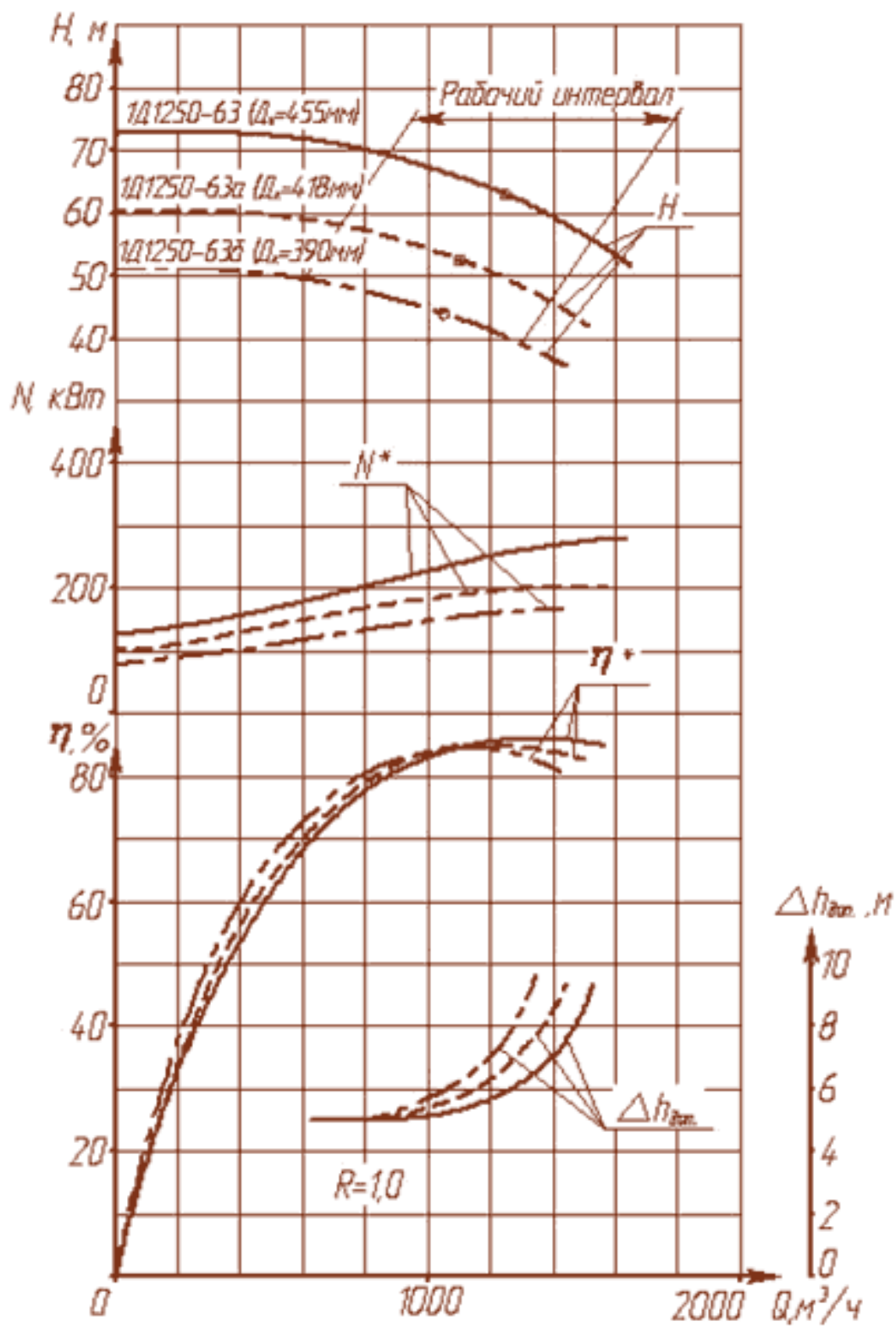


Рисунок А.9 – Характеристика насоса Д 1250–65

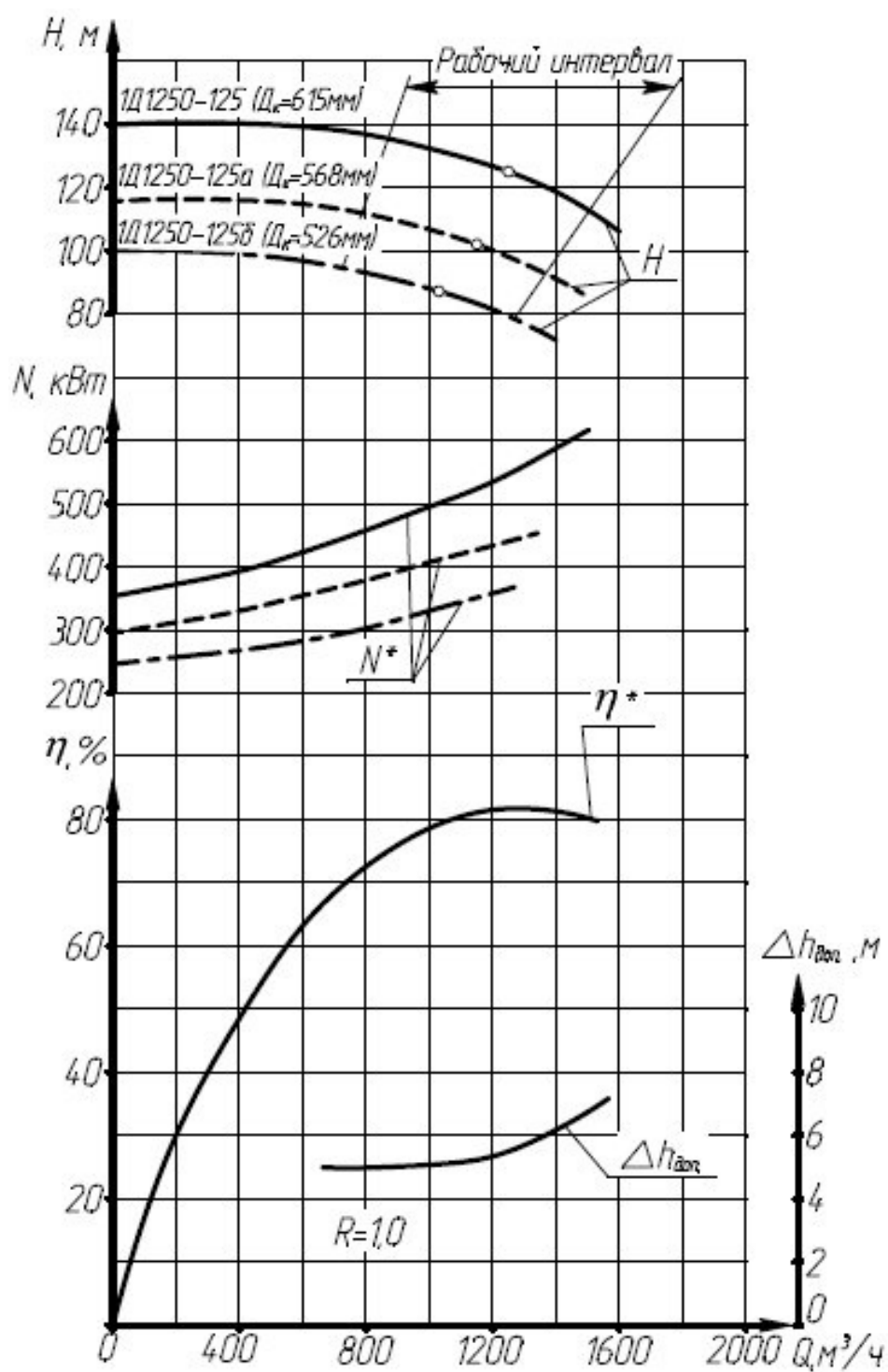


Рисунок А.10 – Характеристика насосу Д 1250–125

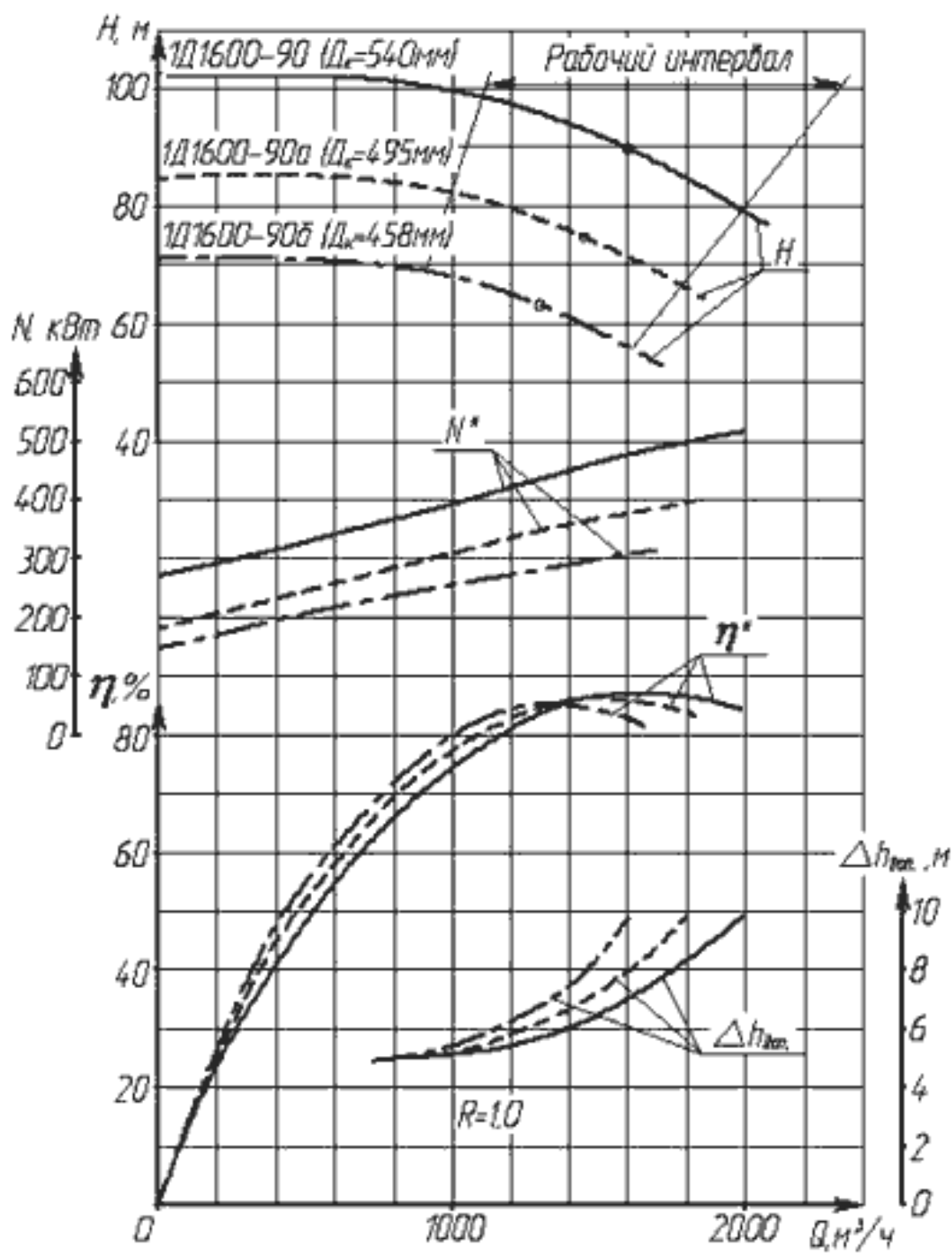


Рисунок А.11 – Характеристика насоса Д 1600–90

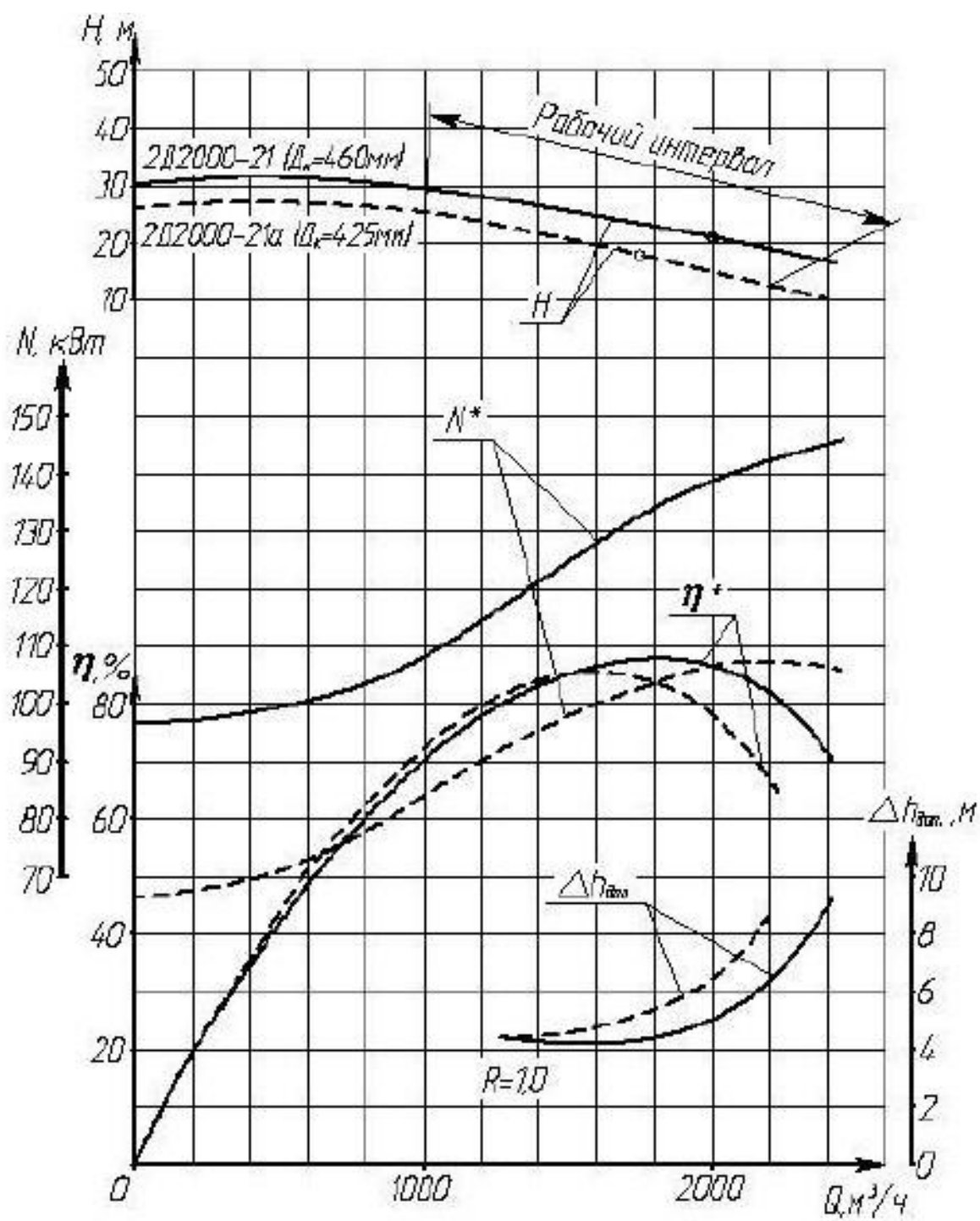


Рисунок А.12 – Характеристика насоса Д 2000–21

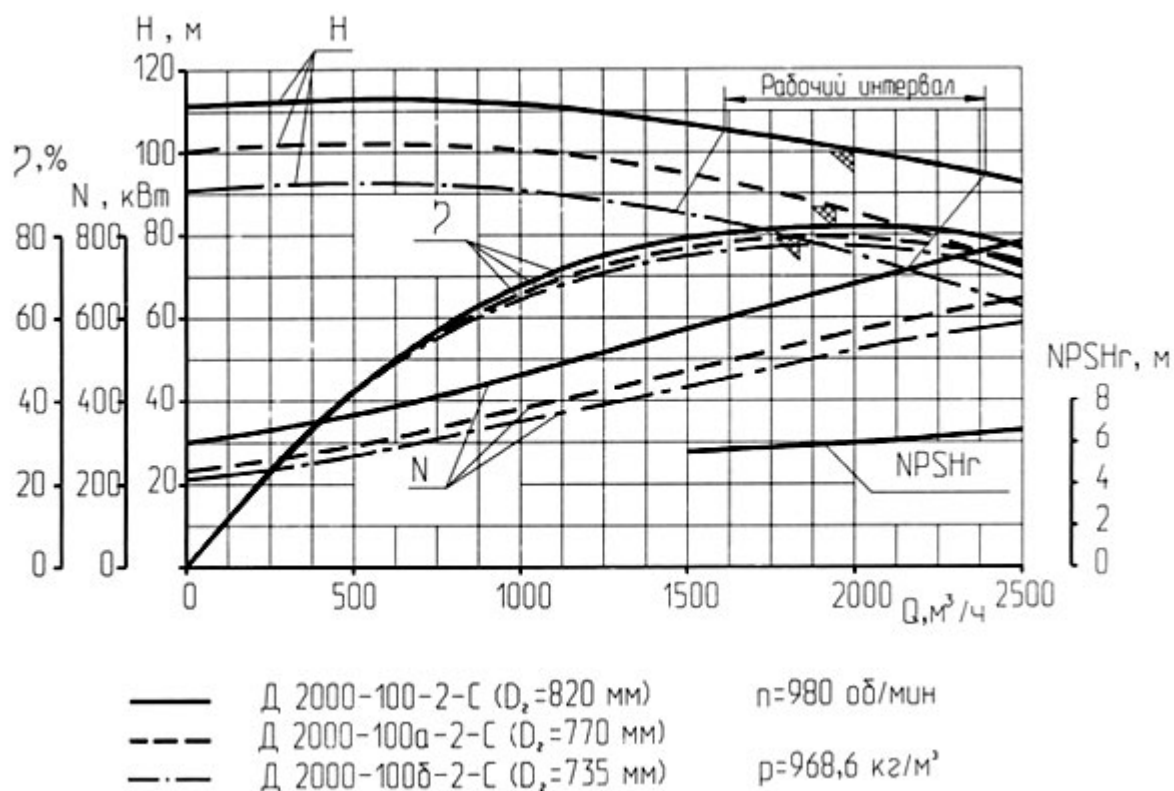


Рисунок А.13 – Характеристика насосу Д 2000–100

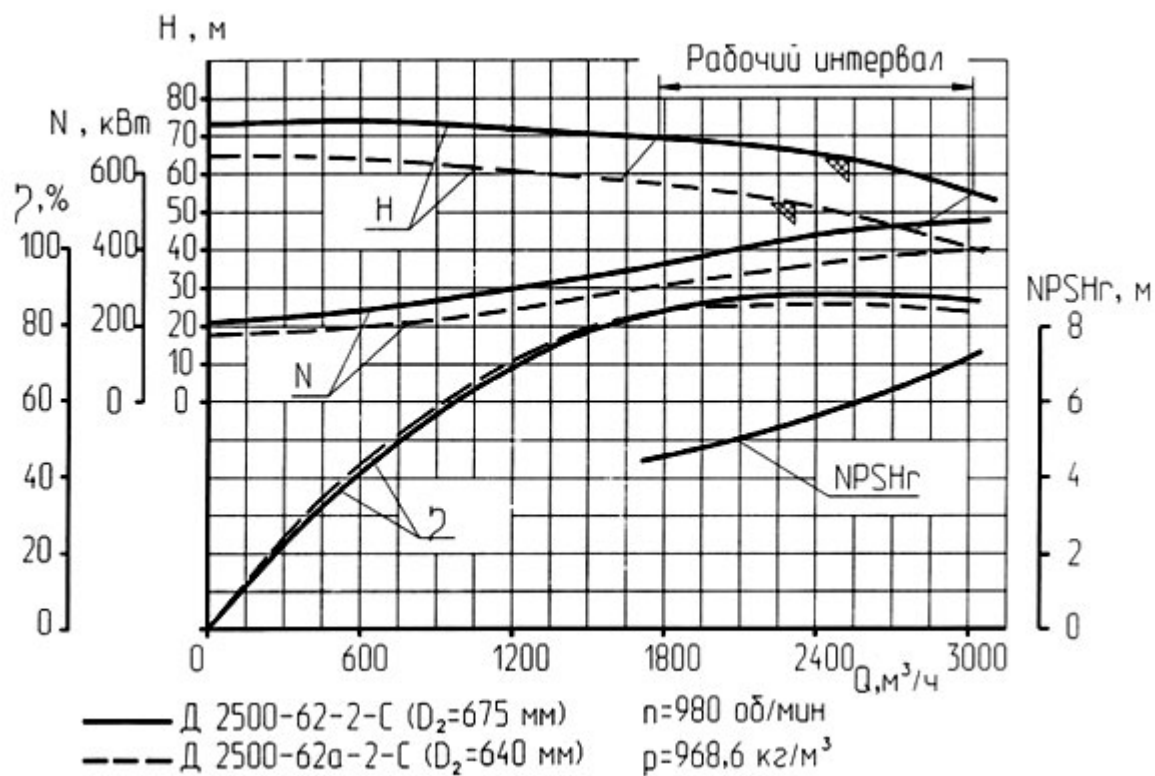


Рисунок А.14 – Характеристика насосу Д 2500–62

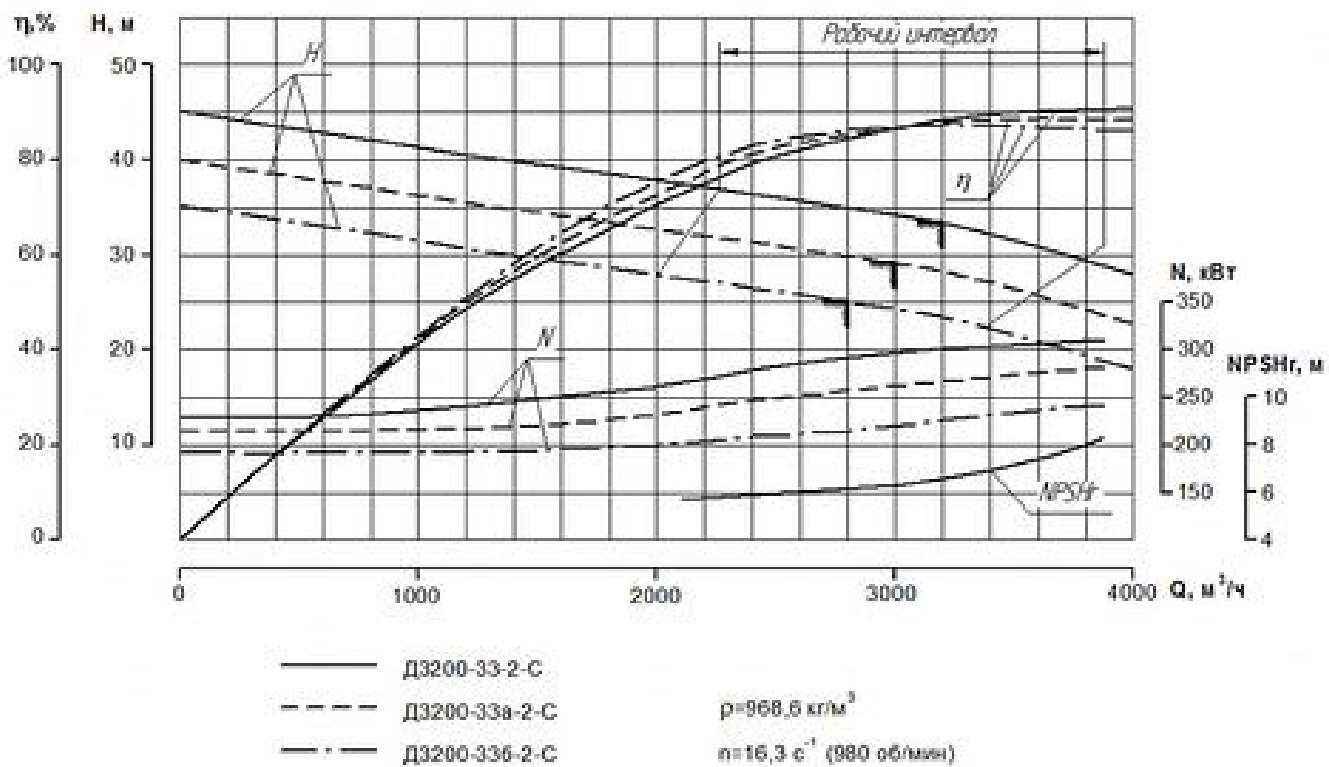


Рисунок А.15 – Характеристика насосу Д 3200–33

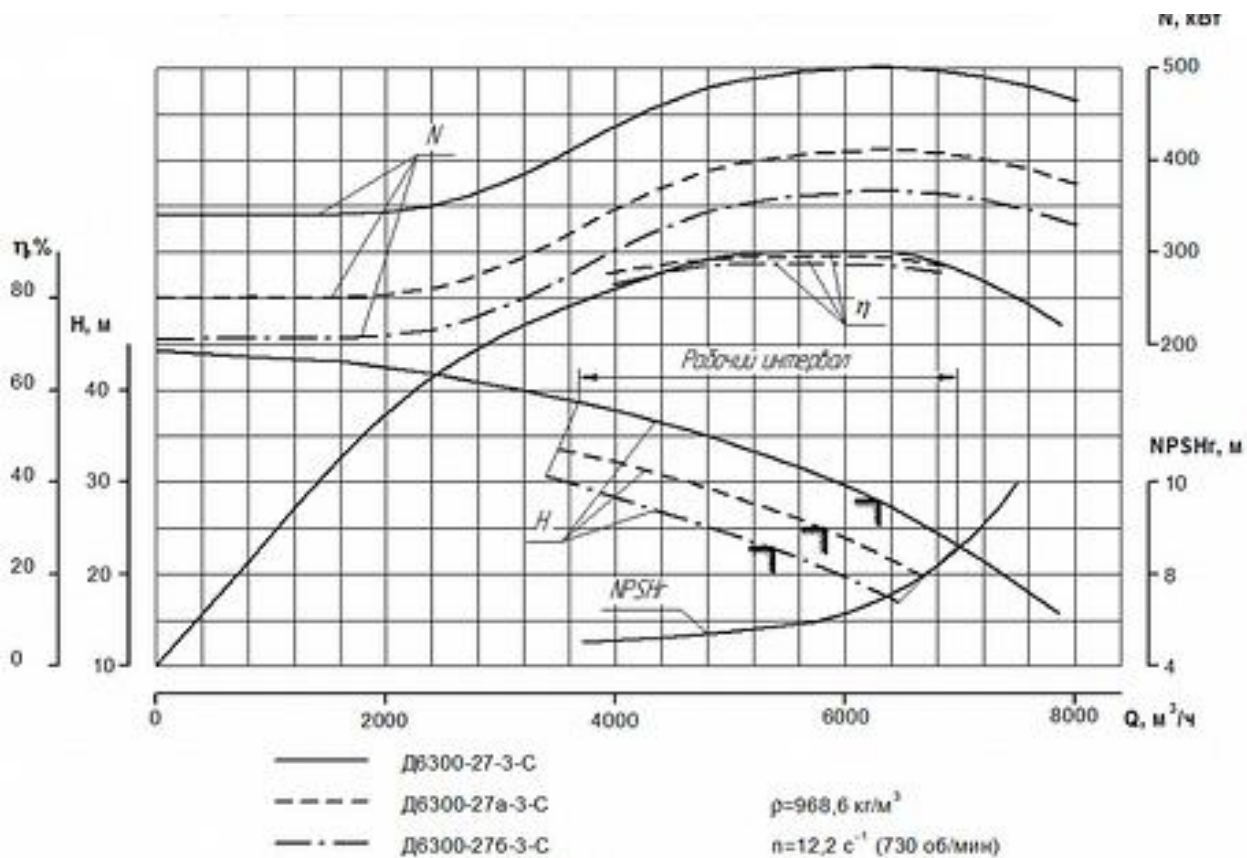


Рисунок А.16 – Характеристика насосу Д 6300–27

ДОДАТОК Б

Паспортні характеристики насосів типу СД

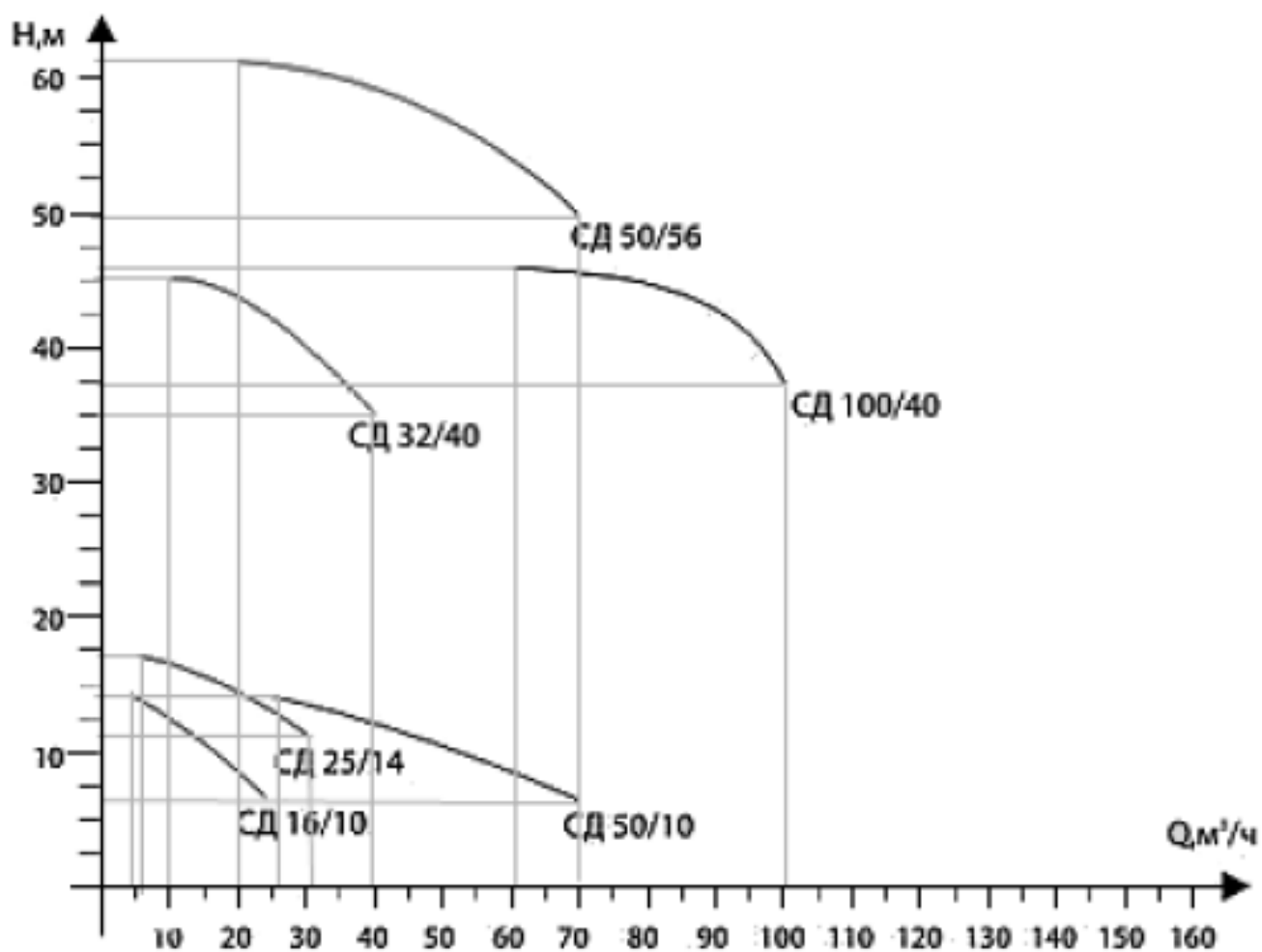


Рисунок Б.1 – Характеристики насосів СД 16/10, СД 25/14,
СД 32/40, СД 50/10, СД 50/56, СД 100/40

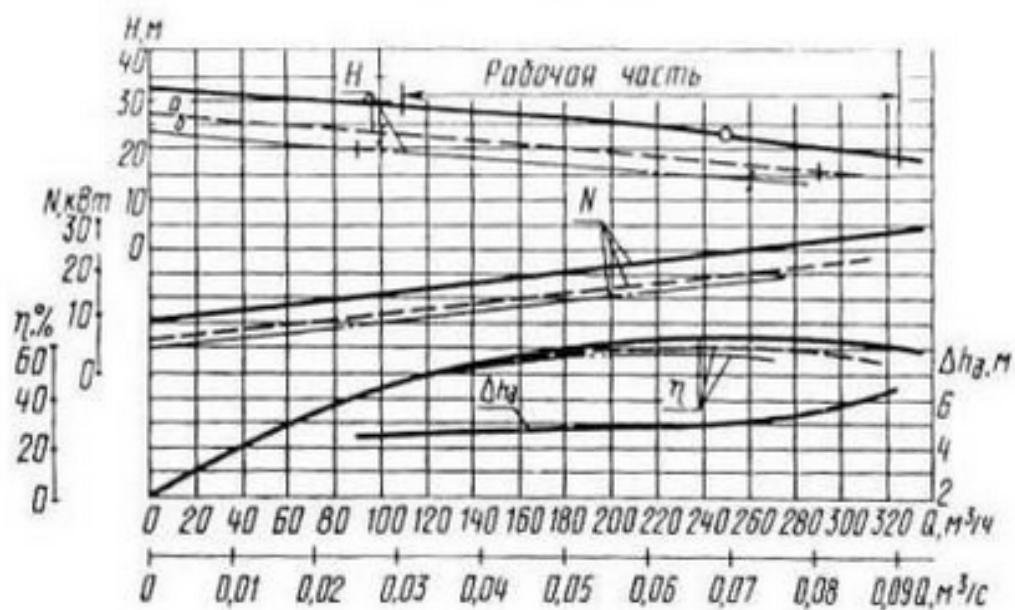


Рисунок Б.2 – Характеристика насосу СД 250 / 22,5

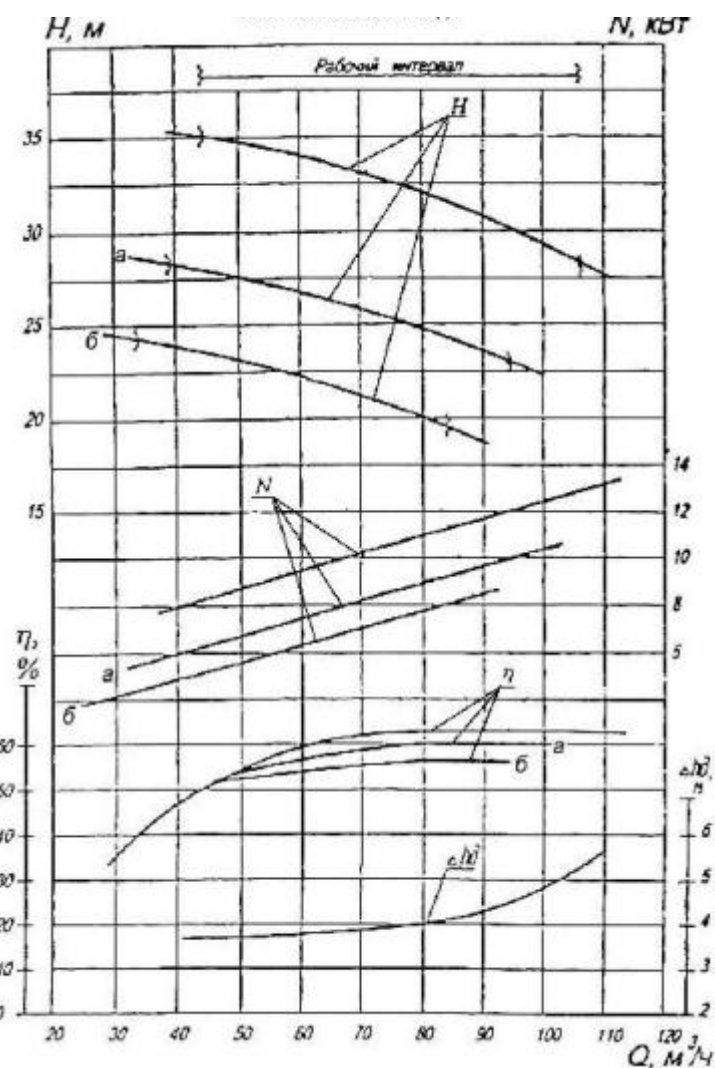


Рисунок Б.3 – Характеристика насосу СД 80 / 32

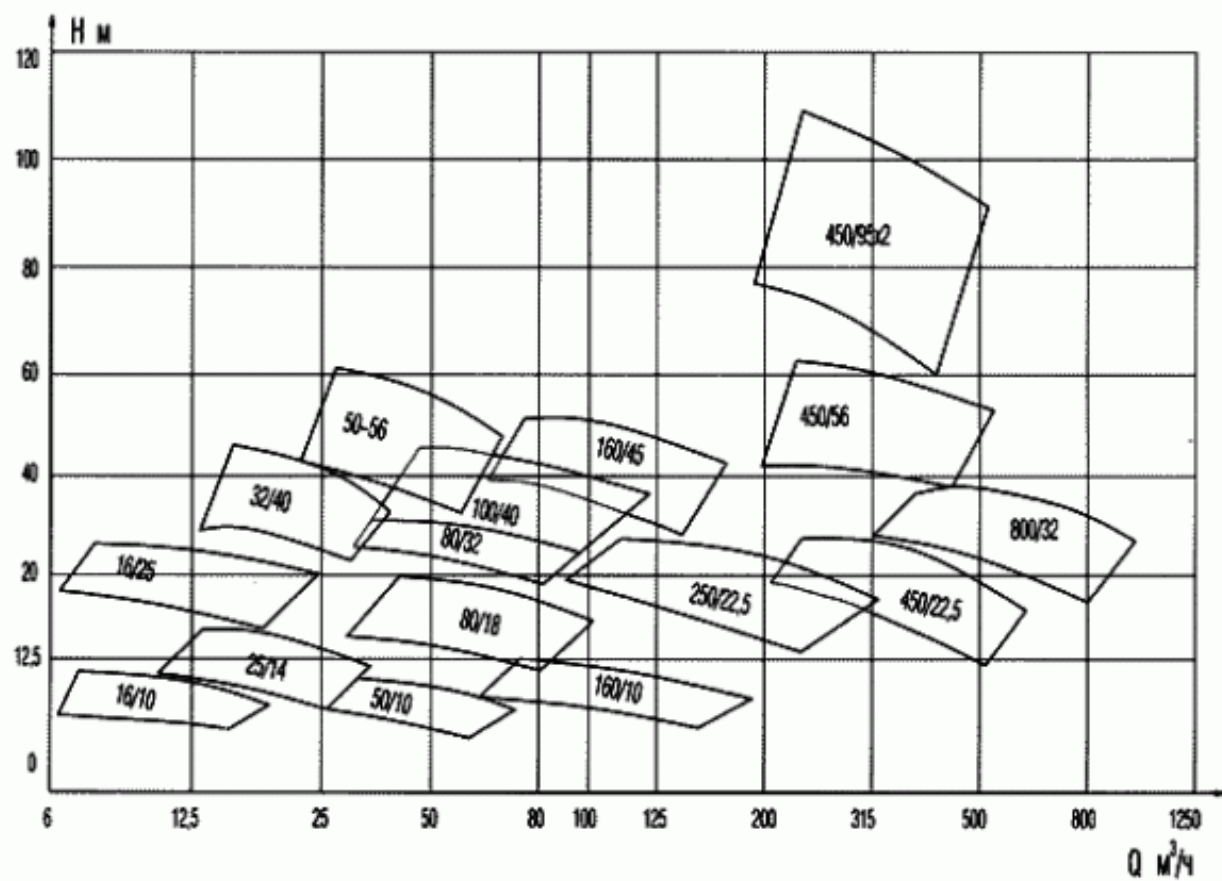


Рисунок Б.4 – Зведене поле графіків насосів марки СД

Список використаних джерел

1. Шевченко Т. О. Конспект лекцій з дисципліни «Гідравлічні та аеродинамічні машини» («Насосні та повітродувні станції». Модуль 1. «Гідравлічні та аеродинамічні машини») / Т. О. Шевченко ; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. – 118 с.
2. Залуцкий Э. В. Насосные станции. Курсовое проектирование : учеб. пособие для ВУЗов / Э. В. Залуцкий, А. И. Петрухно. – Киев : Вища школа, 1987. – 168 с.
3. Колотило М. І. Насоси, повітродувки, компресори : навч. посібник для вузів / М. І. Колотило. – Харків : ХДТУБА, 1997. – 128 с.
4. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : Справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев – М. : Стройиздат, 1984. – 116 с.
5. Каталог насосного обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://nasos-zavod.ru/gorizontálne.html>

Навчальне видання

Методичні вказівки
для практичних занять та виконання
розрахунково–графічного завдання з дисциплін

**«ГІДРАВЛІЧНІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ».
«НАСОСНІ ТА ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ. МОДУЛЬ 1. ГІДРАВЛІЧНІ
ТА АЕРОДИНАМІЧНІ МАШИНИ»**

*(для студентів 2, 3 курсів денної та заочної форм навчання напрямів
підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси) (фахове спрямування
«Раціональне використання і охорона водних ресурсів»),
6.060101 – Будівництво (фахове спрямування «Водопостачання та
водовідведення») та спеціальності 192 – Будівництво і цивільна інженерія)*

Укладач **ШЕВЧЕНКО** Тамара Олександрівна

Відповідальний за випуск *Т. О. Шевченко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Т. О. Шевченко*

План 2015, поз. 117М

Підп. до друку 07.04.2015
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60 × 84/16
Ум. друк. арк. 3,6
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК 5328 від 11.04.2017